

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID
FACULTAD DE MEDICINA



TESIS DOCTORAL

**La función visual en el tiro olímpico: influencia en
acomodación, visión binocular y otras habilidades visuales**

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR

PRESENTADA POR

Ricardo Bernárdez Vilaboa

Directores

Antonio Álvarez Fernández-Balbuena

Manuel Sillero Quintana

Madrid

© Ricardo Bernárdez Vilaboa., 2019

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE ÓPTICA Y OPTOMETRÍA

Departamento de Óptica II: Optometría y Visión



**La función visual en el tiro olímpico. Influencia en
acomodación, visión binocular y otras habilidades
visuales**

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR
PRESENTADA POR

Ricardo Bernárdez Vilaboa

Bajo la dirección de

Dr. D. Antonio Álvarez Fernández-Balbuena

y

Dr. D. Manuel Sillero Quintana

Madrid, 2019



DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD DE LA TESIS PRESENTADA PARA OBTENER EL TÍTULO DE DOCTOR

D. Ricardo Bernárdez Vilaboa, estudiante en el Programa de Doctorado Óptica, Optometría y Visión, de la Facultad de Óptica y Optometría de la Universidad Complutense de Madrid, como autor de la tesis presentada para la obtención del título de Doctor y titulada:

La función visual en el tiro olímpico. Influencia en acomodación, visión binocular y otras habilidades visuales

y dirigida por: Dr. D. Antonio Álvarez Fernández-Balbuena y el Dr. D. Manuel Sillero Quintana.

DECLARO QUE:

La tesis es una obra original que no infringe los derechos de propiedad intelectual ni los derechos de propiedad industrial u otros, de acuerdo con el ordenamiento jurídico vigente, en particular, la Ley de Propiedad Intelectual (R.D. legislativo 1/1996, de 12 de abril, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Propiedad Intelectual, modificado por la Ley 2/2019, de 1 de marzo, regularizando, aclarando y armonizando las disposiciones legales vigentes sobre la materia), en particular, las disposiciones referidas al derecho de cita.

Del mismo modo, asumo frente a la Universidad cualquier responsabilidad que pudiera derivarse de la autoría o falta de originalidad del contenido de la tesis presentada

de conformidad con el ordenamiento jurídico vigente.

En Madrid, a 19 de junio de 2019

A handwritten signature in blue ink, consisting of a large, stylized 'R' and 'V' followed by a long horizontal stroke.

Fdo. Ricardo Bernárdez Vilaboa

Don Antonio Álvarez Fernández-Balbuena, profesor del departamento de Óptica de la Universidad Complutense de Madrid, como director de la presente tesis doctoral

CERTIFICA

Que el trabajo **“La función visual en el tiro olímpico. Influencia en acomodación, visión binocular y otras habilidades visuales”** realizado por D. Ricardo Bernárdez Vilaboa reúne los requisitos metodológicos y el valor científico adecuado para ser presentado y defendido para optar al grado de Doctor por la Universidad Complutense de Madrid.

Y para que así conste, se expide el presente certificado en Madrid, a 19 de junio de 2019.

Fdo. Dr. D Antonio Álvarez Fernández-Balbuena

Don Manuel Sillero Quintana, profesor Titular del departamento de Deportes de la Universidad Politécnica de Madrid, como codirector de la presente tesis doctoral

CERTIFICA

Que el trabajo “**La función visual en el tiro olímpico. Influencia en acomodación, visión binocular y otras habilidades visuales**” realizado por D. Ricardo Bernárdez Vilaboa reúne los requisitos metodológicos y el valor científico adecuado para ser presentado y defendido para optar al grado de Doctor por la Universidad Complutense de Madrid.

Y para que así conste, se expide el presente certificado en Madrid, a 19 de junio de 2019

Fdo. Dr. D. Manuel Sillero Quintana

AGRADECIMIENTOS

Antes de empezar, dar gracias a Dios, por tanta gente a quien debo agradecerle todo mi humilde trabajo.

En primer lugar, agradecer a mis directores de tesis Dr. D. Antonio Álvarez Fernández-Balbuena, por su ayuda desinteresada y compartir tantas patentes como jornadas de generación de dispositivos locos, por atenderme para darme grandes consejos en cada reunión y correo electrónico, ha sido un enorme honor trabajar a tu lado, pero no te voy a dejar tranquilo en el futuro, ya lo sabes. Además, acuérdate que tú también eres Óptico-Optometrista y me tienes que entender mejor que nadie; y al Dr. D. Manuel Sillero Quintana, mi Vicedecano favorito, por su increíble despliegue de sabiduría, bien hacer y su doble faceta de Deportista y Óptico-Optometrista, que me ha servido para guiar este trabajo en la dirección adecuado. Ha sido un grandísimo privilegio trabajar a tu lado y por supuesto, me vas a tener en tu puerta tantas veces como proyectos se nos ocurran.

A mi Esposa Ana María Rafaela, por todo el amor que nos une y todas las batallas que deben trazar dos Ópticos-Optometristas cuando se ponen a trabajar día a día y con nuestras dos hermosas y muy buenas hijas Ana María Marina (como no Óptico-Optometrista y Farmacéutica en un curso. A Dios dedica toda su labor tanto religiosa como profesional) y Sofía María Luisa (también Óptico-Optometrista, en breve y nuestra audióloga favorita. La mejor Viola que conozco). En esta batalla nos cruzamos con un par de socios, mis cuñados, la Dra. María Luisa Poveda Sánchez Rodríguez y Pepe, otros locos Ópticos-Optometristas, a los que nos une nuestro amor a la familia, a Cristo y por supuesto y para rematarlo el trabajo por y para la Optometría y todo lo que conlleva.

A mis padres, irrepetibles y pieza clave en mi forma de ser y entender la vida, siempre pendientes con amor incondicional por encima de las diferencias en nuestra formación, al darnos la posibilidad de ser Universitarios con su esfuerzo y trabajo sin esperar nada a cambio. Mi madre, Marina, nos dejó en 1992 pero sigue en nuestros corazones y nuestra forma de ser y mi padre, Manuel, sigue pendiente de nosotros desde el centro del mundo, la fiel, leal, valerosa y siempre benéfica ciudad de Vigo, de donde provenimos todos, aunque a mi me tocara nacer en la región parisina. A mis hermanos, familia imprescindible para mi largo tramo en casa antes de casarme, pero siempre pendientes de mi e interesados en todo lo que nos lleva pasando durante tanto tiempo.

A mi anterior directora, la Dra. D^a. Consuelo Villena Cepeda, en su labor incansable para encauzar mi trabajo en los estándares internacionales y compartir tantos años de docencia a mi lado y bregar con tantos profesores y alumnos multiplicado por los 32 cursos que hemos vivido conjuntamente en nuestra querida facultad de Óptica y Optometría.

A los 3 entrenadores y contactos que me dieron la oportunidad de conocer un poco del fascinante mundo del deporte del tiro olímpico. A Piotr Kosmatko que en las primeras conversaciones con Manuel nos abrió las puertas a trabajar con los tiradores de la Blume y otros concentrados para la competición de la selección española. A Luis Miguel Pérez, su sucesor con un gran papel al frente de la misma selección y para mí una gran persona, que me llevo como amigo y espero seguir realizando otros proyectos en el futuro conjuntamente. A Juan Carlos López, entrenador de la selección de la comunidad autónoma de Madrid, con quien he compartido un número interminable de sábados de 10 a 14, en el campus de canto blanco en esas galerías congeladas en invierno y ardiendo en verano. A Jesús Carmona, que me dio todos los contactos del mundo para poder medir y medir, una gran persona con una hija que va a ser nuestro máximo exponente en carabina aire. Hay más personas como María del Carmen Fuentes que me hizo de intermediaria en mis trabajos con el club Quijote de tiro olímpico o Juan Vicente Lumbreras, que hizo lo mismo con el club de tiro Viento del Norte.

A mis amigos, profesores de la facultad, alumnos por su inestimable colaboración siempre desinteresada y con la sonrisa en la cara.

A Pedro Cuesta por su gran servicio desinteresado por hacerme las estadísticas del trabajo.

ÍNDICE

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD DE LA TESIS	2
AGRADECIMIENTOS	5
ÍNDICE	7
FIGURAS E ILUSTRACIONES	11
TABLAS	13
LISTADO DE PUBLICACIONES	14
ABREVIATURAS	15
1. RESUMEN	18
2. SUMMARY	20
3. INTRODUCCIÓN Y ESTADO DEL ARTE	22
3.1. Análisis optométrico	22
3.2. Visión en el deporte	23
3.3. El tiro olímpico	25
3.3.1. Precisión	25
3.3.2. Pistola Aire	26
3.3.3. Carabina Aire	28
3.3.4. Otras categorías	32
Plato	32
Armas históricas	32
Recorridos de tiro.	33
Alta precisión	33
F-Class.	33
3.4. Análisis optométrico en el tiro	33
3.4.1. Motilidad ocular	34
3.4.2. Uso de eyetracker en la motilidad ocular	36
3.4.3. Tiempo de reacción (coordinación ojo-mano y ojo-pie)	37
3.4.4. Visión binocular (heteroforia)	39
3.4.5. Acomodación	41

3.5. Justificación	42
4. HIPÓTESIS	44
5. OBJETIVOS	45
6. MATERIAL Y MÉTODOS	46
6.1. MUESTRA	46
6.2. MATERIAL	46
6.3. Breve descripción de los materiales de evaluación	48
6.3.1. ADEM	48
6.3.2. Conector infrarrojo Eyetribe®	49
6.3.3. Speed-trac	50
6.3.4. Equipo de Howard Dolman	50
6.3.5. La unidad de conexión múltiple	50
6.3.6. Las gafas estroboscópicas marca Senaptec®	51
6.3.7. El sensor infrarrojo	52
6.3.8. Programa Excel para cálculo del cociente acomodación convergencia (AC/A)	53
6.3.9. Programa informático Ogama®	53
6.3.10. El mando para la medida de la acomodación	54
6.4. MÉTODOS	55
6.4.1. Pruebas en común y evaluación del estado visual de la población total analizada.	56
6.4.2. Evaluación del estado visual de una población de alumnos del grado de Óptica y Optometría como grupo control sedentario	63
6.4.3. Evaluación del estado visual de una población de deportistas de tiro olímpico.	65
6.4.4. Diferencias visuales entre sedentarios y deportistas de tiro olímpico	67
6.4.5. Variación del estado optométrico con el ejercicio del entrenamiento simulado de competición de los deportistas de tiro olímpico.	67
6.4.6. Conocer el interés de los entrenadores por la intervención.	68
6.4.7. Descripción del análisis estadístico	68
7. RESULTADOS	70

7.1.	Resultados de la evaluación del estado visual de la población total.	70
7.2.	Resultados de la evaluación del estado visual de una población sedentaria.	72
7.3.	Resultados de la evaluación del estado visual de una población deportista de tiradores de tiro olímpico.	73
7.4.	Diferencias visuales entre sedentarios y deportistas de tiro olímpico	74
7.5.	Variación del estado optométrico en tiradores con el ejercicio del entrenamiento rutinario.	83
7.6.	interés de los entrenadores por la intervención.	99
7.7.	Elaboración de patentes producto de la tesis	100
8.	DISCUSIÓN	101
8.1.	Pruebas en común y evaluación del estado visual de la población total analizada.	101
8.2.	Evaluación del estado visual de una población de alumnos del grado de Óptica y Optometría como grupo control sedentario	102
8.3.	Evaluación del estado visual de una población de deportistas de tiro olímpico.	103
8.4.	Diferencias generales y visuales entre sedentarios y deportistas de tiro olímpico	104
8.5.	Variación del estado optométrico con el ejercicio del entrenamiento rutinario de los deportistas de tiro olímpico.	107
8.6.	Conocer el interés de los entrenadores por la intervención.	110
9.	CONCLUSIONES	111
10.	FUTURAS LINEAS DE INVESTIGACIÓN	112
11.	BIBLIOGRAFIA	113
12.	LIMITACIONES DE LA TESIS	119
13.	ANEXOS	120
	ANEXO 1: Ficha inicial de control visual	120
	ANEXO 2: Informe individual del tirador	121
	ANEXO 3: Ficha de control del entrenamiento	122
	ANEXO 4: Informe para el tirador tras entrenamiento	123
	ANEXO 5: Fórmulas y condiciones de las anomalías	124

FIGURAS E ILUSTRACIONES

Figura 1. Tiradores de pistola en galería de tiro	25
Figura 2. Pistola de aire comprimido, cartuchos y gafas de tiro	26
Figura 3. Campeón de España de pistola aire con filtros y ocluidores en gafas de tiro	27
Figura 4. Campeón de España de pistola aire tirando en diana retro iluminada.....	28
Figura 5. Tirador de carabina aire entrenando a 10 m en galería de tiro	28
Figura 6. Campeona de España de carabina aire y record de España	29
Figura 7. Gafas de tiro como lentes compensadoras	29
Figura 8. Tiradores de carabina aire en competición.....	30
Figura 9. Diopter de la carabina aire	30
Figura 10. Túnel visto a través del Diopter.....	31
Figura 11. Blanco en papel	32
Figura 12. Blanco de puntuación electrónica	32
Figura 13. Efectos de movimientos oculares sobre la percepción.	35
Figura 14. Resultado del anál. de áreas donde se usa y publica sobre el eyetracker .	36
Figura 15. Dispersión de 60 tiros en blanco electrónico	43
Figura 16. Wayne Saccadic Fixator	46
Figura 17. Captura de pantalla del test V1 de lectura vertical del ADEM.....	48
Figura 18. Captura de pantalla del test V2 de lectura vertical	48
Figura 19. Captura de pantalla del test H de lectura horizontal	49
Figura 20. Conector infrarrojo Eyetribe®.....	49
Figura 21. Speed-trac	50
Figura 22. Equipo de Howard Dolman	50
Figura 23. La unidad de conexión múltiple.....	51
Figura 24. Gafas estroboscópicas.....	51
Figura 25. Dos partes de la App móvil “strobe” para las gafas estroboscópicas.....	52
Figura 26. Sensor infrarrojo	52
Figura 27. Captura de pantalla de apartado del cálculo del AC/A y fórmula.....	53
Figura 28. Programa informático Ogama®.....	54
Figura 29. Accesorio de mano	54
Figura 30. Foria horizontal (foto del autor autorizada por el tirador).....	59
Figura 31. Medida de la coordinación ojo-mano con WSF	60
Figura 32. Tirador de carabina durante la prueba de coordinación ojo-mano.....	62
Figura 33. Sedentario en la medida del tiempo de reacción visual.....	63
Figura 34. Medida de la Foria real	65
Figura 35. Aplicación para orden de pruebas, aleatorio	68

Figura 36. Plantilla de pruebas donde se anotaban las elegidas aleatoriamente	68
Figura 37. Diferencia en la Distancia naso pupilar derecha	79
Figura 38. Diferencia en la Distancia naso pupilar izquierda	79
Figura 39. Diferencia en la AV del OD	80
Figura 40. Diferencia en AV del OI.....	80
Figura 41. Diferencia en AV binocular.....	81
Figura 42. Diferencia en Foria de lejos	81
Figura 43. Diferencia en Foria de cerca	82
Figura 44. Diferencia en tiempo motor	82
Figura 45. La diferencia producida en la flexibilidad acomodativa binocular	95
Figura 46. Diferencia en la distancia al túnel donde se mide el MEM en el OI	95
Figura 47. Tiempo visual obtenido por nivel de marca en competición	96
Figura 48. Relación tiempo de reacción y los mejores resultados.....	97
Figura 49. Diferencias significativas en la foria de lejos entre los 3 grupos de edad ...	98
Figura 50. Diferencias significativas en la flexibilidad acomodativa del OD/Edad.....	98
Figura 51. Diferencias significativas en la FAB según edad.....	99
 Ilustración 1. Secuencia en la pérdida de puntuación durante entrenamiento	 43

TABLAS

Tabla 1. Estadísticos de las variables utilizadas de grupos.....	71
Tabla 2. Estadísticos según género, mano dominante y ojo dominante	71
Tabla 3. Variables en el conjunto sedentarios y tiradores	72
Tabla 4. Variables en sedentarios.....	73
Tabla 5. Variables en tiradores	74
Tabla 6. Separación de ambas poblaciones según género	75
Tabla 7. Relación chi cuadrada para el género	75
Tabla 8. Reparto en los dos grupos de la mano dominante	75
Tabla 9. Relación chi cuadrada para ambas poblaciones según la mano dominante..	75
Tabla 10. Reparto en los dos grupos respecto del ojo dominante	76
Tabla 11. Relación chi cuadrada para el ojo dominante en ambas poblaciones.....	76
Tabla 12. Prueba de Normalidad de los grupos de sedentarios y deportistas	77
Tabla 13. Prueba de Mann-Whitney para diferencias significativas entre grupos.....	78
Tabla 14. Valores antes del entrenamiento en tiradores olímpicos	84
Tabla 15. Variables después del entrenamiento en tiradores olímpicos	85
Tabla 16. Diferencias entre variables tras entrenamiento de tiradores	86
Tabla 17. Prueba de rangos con signo de Wilcoxon	87
Tabla 18. Prueba de Mann-Whitney.....	91
Tabla 19. Diferencias en reacción visual según la marca en competición	96
Tabla 20. Diferencias significativas en foria de lejos según edad.....	97
Tabla 21. Diferencias significativas en la flexibilidad acomodativo según edad.....	98

LISTADO DE PUBLICACIONES

Bernárdez Vilaboa, R, Villena Cepeda, C, Álvarez Fernández-Balbuena, A y Medina Ramirez, Lydia (2016) Universidad Complutense de Madrid. *“Heterophoria measurement and training system” ES2430600B2*. Madrid. OEPM. Fecha de concesión: 15.6.2016 (Villena Cepeda & Bernárdez Vilaboa, 2016)

Bernárdez Vilaboa, R, Villena Cepeda, C y Sillero Quintana, M. (2019) Universidad Complutense de Madrid y Universidad Politécnica de Madrid. *“Dispositivo para la evaluación de habilidades visuales” ES2688472B2*. Madrid. OEPM. Fecha de concesión: 13.5.2019 (Bernárdez Vilaboa & Villena Cepeda, 2019)

Villena Cepeda, C, Bernárdez Vilaboa, R, Yuste Cabello, A y Orea Pérez, J. (2014) Universidad Complutense de Madrid. *“Caja de acomodación para el método de acercamiento modificado” ES2464915B2*. Madrid. OEPM. Fecha de concesión: 4.4.2014. (Villena Cepeda & Bernárdez Vilaboa, 2014)

Bernárdez Vilaboa, R, Villena Cepeda, C, Orea Pérez, J y Yuste Cabello, A. (2015) Universidad Complutense de Madrid. *“Caja para la medida de la amplitud de acomodación con lentes oftálmicas” ES2456592B2*. Madrid. OEPM. Fecha de concesión: 29.4.2015. (Villena Cepeda & Bernárdez Vilaboa, 2015)

Bernárdez Vilaboa, R. (2015) Universidad Complutense de Madrid. *“Sistema inhibidor del exceso acomodativo y/o del espasmo acomodativo” ES2532411B2*. Madrid. OEPM. Fecha de concesión: 11.12.2015 (Bernárdez Vilaboa, 2015)

ABREVIATURAS

AA	Amplitud de acomodación
AAOD	Amplitud de acomodación del ojo derecho
AAOI	Amplitud de acomodación del ojo izquierdo
AC/A	Cociente acomodación/convergencia
ADEM	Adult Developmental eye movement
ANT	Anticipación visual
ARN	Acomodación Relativa Negativa
ARP	Acomodación Relativa Positiva
AV	Agudeza Visual
AVB_INI	Agudeza Visual binocular inicial
AVOD_INI	Agudeza Visual OD inicial
AVOI_INI	Agudeza Visual OI inicial
COOM	Coordinación ojo mano
COOM_INI	Coordinación ojo mano inicial
cpm	Ciclos por minuto
CPP	Córtex Parietal Posterior
COOM_INI	Coordinación ojo-mano inicial
CRXOD_INI	Cilindro Refracción OD inicial
CRXOI	Cilindro Refracción OI inicial
DIP	Distancia Inter Pupilar
DNPD	Distancia naso pupilar OD
DNPI	Distancia naso pupilar OI
ERXOD_INI	Esfera Refracción OD inicial
ERXOI_INI	Esfera Refracción OI inicial
EST	Blanco de puntuación electrónica
FAOD	Flexibilidad acomodativa del ojo derecho

FAOI	Flexibilidad acomodativa del ojo izquierdo
FAB	Flexibilidad acomodativa binocular
FL_INI	Foria de lejos inicial
FP_INI	Foria de cerca inicial
FMTO	Federación Madrileña de Tiro Olímpico
IOA	Inspección Óptica Automatizada
ISSF	International Shooting Sport Federation
MEM	Método Estimativo Monocular
MEMOD40	Método Estimativo Monocular en ojo derecho a 40 cm
MEMODX	Método Estimativo Monocular en ojo derecho a X cm
MEMOI40	Método Estimativo Monocular en ojo izquierdo a 40 cm
MEMOIX	Método Estimativo Monocular en ojo izquierdo X cm
OD	Ojo Derecho
OI	Ojo Izquierdo
PIRRLA	Pupilas Isocóricas Redondas Reactivas a Luz y Acomodación
PPC	Punto Próximo de Convergencia
ppm	Pulsaciones Por Minuto
SC02D (%)	Sensibilidad al contraste reducida 20% en ojo derecho
SC08D (%)	Sensibilidad al contraste reducida 80% en ojo derecho
SCMD (%)	Sensibilidad al contraste reducida en la máxima AV en ojo derecho
SC02I (%)	Sensibilidad al contraste reducida 20% en ojo izquierdo
SC08I (%)	Sensibilidad al contraste reducida 80% en ojo izquierdo
SCMI (%)	Sensibilidad al contraste reducida en la máxima AV en ojo izquierdo
STEREO	Estereopsis
RBVFNL	Recobro de la vergencia fusional negativa en visión lejana
RBVFNP	Recobro de la vergencia fusional negativa en visión próxima
RTVFNL	Rotura de la vergencia fusional negativa en visión lejana
RTVFNP	Rotura de la vergencia fusional negativa en visión próxima

RBVFPL	Recobro de la vergencia fusional positiva en visión lejana
RBVFPP	Recobro de la vergencia fusional positiva en visión próxima
RTVFPL	Rotura de la vergencia fusional positiva en visión lejana
RTVFPP	Rotura de la vergencia fusional positiva en visión próxima
RVB_INI	Tiempo visual inicial
RMB_INI	Tiempo motor inicial
TH	Tiempo de lectura horizontal
TH/TV	Cociente de los tiempos verticales y horizontales de lectura
TM	Tiempo Motor
TPM	Tiempo Pre-Motor
TRMB	Tiempo de reacción motor medido binocularmente
TRV	Tiempo de Reacción Visual
TRVB	tiempo de reacción visual medido binocularmente
WSF	Wayne Saccadic Fixator

1. RESUMEN

En Optometría se realizan un número elevado de pruebas para analizar la visión de una persona; hasta tal punto que en población normal encontramos un sinnúmero de defectos refractivos, así como problemas de fusión y visión en relieve o episodios de visión borrosa, acompañados de una etimología adversa definida por una prevalencia epidemiológica variable, sintomatología de dolor y signos peculiares.

Cuando este análisis se hace en una población de deportistas de cualquier modalidad, la información está limitada con respecto al estado visual que describimos. Si analizamos tiradores olímpicos de precisión (carabina y pistola de aire comprimido) no se encuentra esa información con suficiente detalle ni rigor en la bibliografía científica no existiendo esa documentación respecto al momento en que realizan su actividad deportiva durante las horas dedicadas al entrenamiento. En estas publicaciones de artículos sobre deporte, donde se hacen comparativas de todo tipo de deportistas con la población sedentaria, sus autores relatan, en sus conclusiones, típicamente una mayor habilidad visual del deportista sobre el paciente sedentario.

El objetivo principal previsto al iniciar esta tesis consistió en comparar el estado visual de la población sedentaria con tiradores olímpicos, analizando estudiantes del grado de Óptica y Optometría (85 participantes) respecto a deportistas de tiro olímpico (40 participantes) y comprobar los cambios visuales que se pueden producir tras una hora de entrenamiento en los tiradores.

La metodología consistió en exámenes optométricos para la determinación de la ametropía en una población de 125 personas, deportistas de diferentes categorías y no deportistas, con un estado visual que debe cumplir un valor de AV decimal unidad con la mejor compensación posible y sin la aparición de estrabismo. Además, se evaluó la visión binocular y el estado de la acomodación, así como las habilidades visuales como el tiempo de reacción y la coordinación visual. También se midieron la estereopsis y la motilidad ocular por ser considerados parámetros optométricos relevantes en el ámbito clínico.

Finalmente, se constató experimentalmente que el entrenamiento anterior a la competición produce unas variaciones visuales tanto de forma binocular como monocular. De tal forma que podemos suponer que la exoforia o desviación ocular latente, del alineamiento de ambos ojos apuntando el estímulo, evita que se produzca cualquier distracción de la diana en el momento del tiro. Como hemos comprobado con las pruebas optométricas realizadas antes y después de una hora de entrenamiento en diferentes tiradores olímpicos, se produjeron variaciones visuales tales como la

reducción de la AV y de las vergencias negativas, pero también supuso un aumento de la flexibilidad acomodativa monocular y binocular, así como de la coordinación ojo-mano. Los tiradores mayores de 30 años sufren una pérdida de la flexibilidad acomodativa tras la hora de entrenamiento y se les aconseja una adición positiva diferente después de transcurrido un tiempo, en el momento que noten la fatiga ocular por falta de precisión en el tiro, en función del criterio del propio tirador. La puntuación más alta para cada tiro es de 10,9 puntos. La reducción de eficiencia visual fue diferente en cada tirador y era función de la propia experiencia de cada tirador, de su flexibilidad acomodativa y de la variación de la acomodación, a lo largo del entrenamiento, generando una fatiga ocular post-entrenamiento.

2. SUMMARY

In Optometry, a large number of tests are performed to analyze a person's vision; to such an extent that in normal population we find a large numbers of refractive defects, as well as problems of fusion and vision in relief or episodes of blurred vision, accompanied by an adverse etymology defined by a variable epidemiological prevalence, symptomatology of pain and peculiar signs.

When this analysis is done in a population of athletes of any modality, the information is limited with respect to the visual state that we describe. If we analyze precision Olympic shooters (carbine and air pistol) that information is not found with sufficient detail or rigor in the scientific literature, there is no such documentation regarding when they perform their sport during the hours dedicated to training. In these publications of sports articles, where comparisons are made of all types of athletes with the sedentary population, their authors report, in their conclusions, typically a greater visual ability of the athlete on the sedentary patient.

The main objective at the beginning of this thesis was to compare the visual status of the sedentary population with Olympic shooters, analyzing students of the Optical and Optometry degree (85 participants) with respect to shooters (40 participants) and to verify the visual changes they can be produced after one hour of training in shooters.

The methodology consisted in optometric tests for the determination of ametropia in a population of 125 people, athletes of different categories and non-athletes, with a visual state that must comply with a value of AV decimal unit with the best possible compensation and without the appearance of squint. In addition, binocular vision and the state of accommodation were evaluated, as well as visual skills such as reaction time and visual coordination. Stereopsis and ocular motility were also measured because they are considered relevant optometric parameters in the clinical setting.

Finally, it was found experimentally that pre-competition training produces visual variations in both binocular and monocular forms. In such a way that we can suppose that the exophoria or latent ocular deviation, of the alignment of both eyes pointing the stimulus, avoids that any distraction of the target occurs at the moment of the shot. As we have verified with the optometric tests carried out before and after one hour of training in different Olympic shooters, there were visual variations such as the reduction of AV and negative vergences, but also an increase in accommodative monocular and binocular facility, as well as eye-hand coordination. Shooters older than 30 years suffer a loss of accommodative facility after the training hour and are advised a different positive addition after a time, at the time they notice eye fatigue due to lack of accuracy in the

shot, depending on of the opinion of the shooter himself. The highest score for each shot is 10,9 points. The reduction of visual efficiency was different in each shooter and was a function of the experience of each shooter, of his accommodative flexibility and of the variation of the accommodation, throughout the training, generating a post-training ocular fatigue.

3. INTRODUCCIÓN Y ESTADO DEL ARTE

3.1. *Análisis optométrico*

En Optometría, tras una completa anamnesis, útil para conocer al detalle signos apreciables por el paciente y su entorno y los síntomas presentados por la persona en primera persona (Erickson, 2007), se evalúa el problema visual con una serie de pruebas, tanto monoculares como binoculares, con el objetivo de lograr la mayor información de la visión del paciente. Habitualmente, primero se evalúa la agudeza visual (AV), con diferentes escalas de optotipos adaptadas a la edad y habilidades del paciente. Se comprueba objetivamente el estado refractivo de cada ojo con las técnicas de retinoscopia estática (Micó, 2011; Montés-Micó, 2012; Parra & García, 2010). Se verifica subjetivamente este error refractivo con la técnica más adecuada para conseguir el máximo positivo para la máxima AV, sin híper o hipo compensaciones. Al final, el objetivo optométrico consiste en mejorar la visión del paciente mediante una compensación óptica teniendo la mejor visión de cada ojo por separado y modificando los datos cuando fuera necesario para lograr la mejor visión binocular posible.

La consecución de una buena AV de lejos no es suficiente garantía de buena visión ya que intervienen más parámetros en la misma. Por ello con esta compensación óptica, en forma de gafas o lentes de contacto, se analizan parámetros en relación con la acomodación y visión binocular, para saber si la visión final es la más adecuada para la realización de tareas visuales a cualquier distancia y a pleno rendimiento. Entre estas pruebas se encuentran, la valoración del estado fórico, útil para conocer la anomalía binocular no estrábica y la motilidad ocular, necesaria para un correcto seguimiento y fijación del estímulo luminoso. La foria nos permite saber cómo confluyen ambos ojos simultáneamente sobre el plano de fijación, de tal manera que llamamos ortofórico al paciente con alineamiento exacto coincidiendo con la convergencia requerida para la distancia donde se evalúa. Cuando los ejes visuales no están alineados de forma exacta, se produce una desviación latente y la persona debe modificar la posición inicial de desviación para no ver doble. Esa capacidad para alinear los ejes oculares produce sintomatología por el esfuerzo que supone contrarrestar la desviación sobre el plano del estímulo a observar. La condición por la cual se produce una pérdida de ese alineamiento con falta de fusión visual porque los ejes visuales se cruzan delante del estímulo se denomina Endoforia. Si, por el contrario, se produce pérdida del alineamiento con los ejes visuales cruzándose de forma virtual se denomina Exoforia. El estado normal del alineamiento es ligeramente por detrás del plano o un alineamiento de los ejes visuales de forma virtual (Montés-Micó, 2012).

Por otro lado, sabemos que la forma más sencilla de valorar visualmente la eficacia de una actividad instantánea o prolongada en el tiempo, respectivamente, son el tiempo de reacción visual y la coordinación ojo-mano y ojo-pie. Estos parámetros se relacionan más con actividades deportivas o se utilizan en terapia visual (Barbieri et al., 2018; Laby, Kirschen, Govindarajulu, & DeLand, 2018; Laby, Kirschen, & Pantall, 2011). El tiempo de reacción visual nos permite comprobar la velocidad de reacción y respuesta ante la aparición de un estímulo visual y/o auditivo en el entorno del paciente. La coordinación ojo-mano y ojo-pie nos informan del número de veces que somos capaces de realizar esa acción para diferentes estímulos visuales, secuenciados y programados en unas condiciones determinadas y ajustadas a la tarea a evaluar. Se debe determinar si este número de respuestas es o no el adecuado o si se ve reducido por algún problema, fundamentalmente visual pero también motor.

Para poder evaluar y comparar un grupo de deportistas, especializados en diferentes áreas o puestos dentro de un equipo, necesitamos un grupo control de población normal estadísticamente, con sus respectivos valores de refracción, acomodación y visión binocular a comparar con los deportistas a analizar.

Además de un examen optométrico completo, se deben evaluar, la motilidad, el tiempo de reacción, simultáneamente con la coordinación ojo-mano y ojo-pie, que viene a ser varios tiempos de reacción en serie, evaluados durante un tiempo determinado y, por último, dentro de la visión binocular, debiéramos centrarnos en la comparativa con la heteroforia y vergencias fusionales. También se debe evaluar la acomodación como el método estimativo monocular (MEM) (Borràs García, Gispets Parcerisas, & Ondategui Parra, 2004; Momeni-Moghaddam, McAlinden, Azimi, Sobhani, & Skiadaresi, 2014; Parra & García, 2010), la amplitud de acomodación y la flexibilidad acomodativa.

La tesis se centró básicamente en los cambios de 4 grupos principales de pruebas optométricas como son la motilidad ocular, el tiempo de reacción visual, la visión binocular y la acomodación en la población analizada de tiradores olímpicos dentro de la visión en el deporte además de la comparativa con la población sedentaria.

3.2. *Visión en el deporte*

La visión en cualquier actividad deportiva requiere de condiciones visuales determinadas principalmente por el tipo de deporte. Debe tener una buena agudeza visual, se deben alcanzar valores normales de acomodación y visión binocular para mantener la imagen nítida y simple (evitar la diplopía). La mayoría de los deportes requieren de una visión excelente porque la mayor parte de la información sensorial

procede de la visión en un porcentaje entre el 80 y 85% y teniendo en cuenta que la gran mayor parte de las respuestas en deporte son una réplica de la percepción visual (Salvador, 2010). La investigación científica ha ligado la habilidad del deportista practicando su deporte con la visión (Hitzeman & Beckerman, 1993; Montero & Arce, 2002; Salvador, 2010). Se han evaluado las habilidades visuales necesarias para distintos deportes y comprobado así las diferencias con las personas sedentarias. Las pruebas visuales en deportistas requieren procedimientos e instrumentos inusuales en las consultas del Óptico-Optometrista (Berman, 1993; Loran & MacEwen, 1997). Beckerman & Hitzeman expresaron la necesidad de incluir servicios de cuidados visuales, tras la realización de varios estudios, para analizar la visión en diferentes deportes incluyendo cuidado visual, compensación visual, medida de AV, sensibilidad al contraste, alineamiento ocular, dominancia de ojo, coordinación ojo-mano, analizando por edades y deporte (Beckerman & Hitzeman, 2003). Según Laby, la capacidad de identificar las necesidades visuales de un atleta con el deseo de participar en un deporte determinado pero con una intención clara de corregir sus defectos, podría permitirle conseguir un mayor éxito tanto en el caso de un deportista profesional como amateur (Laby, 2018) .

Las habilidades visuales permiten sacar el máximo partido a nuestro sistema visual. Esas habilidades visuales son todas las capacidades visuales que permiten realizar cualquier actividad deportiva para lograr ese objetivo o al menos intentarlo frente a deportistas con otra habilidad visual. Entre estas habilidades destacan la AV estática, AV dinámica, la acomodación, la visión binocular, la visión en relieve, la coordinación ojo-músculo, tiempo de reacción visual, sensibilidad al contraste, el campo visual, la visión cromática, la visualización y la concentración visual (Hawley, Burke, & Román, 2000; Morilla, 2017). En la exploración de estas habilidades visuales se deben crear condiciones similares a las que está habituado el deportista a explorar, tal y como las desarrolla tanto en el entrenamiento como en el lance del juego (Salvador, 2010). Entre las habilidades señaladas hay poblaciones con mejor resultado por las características del deporte al que se dedican respecto de otras (Zwierko, Jedziniak, et al., 2018).

En deportes estáticos, como son la mayoría de las modalidades del tiro olímpico, la información visual es mayoritariamente estacionaria al permitir que la imagen estable se pueda procesar. Esta estabilidad garantiza una acción precisa de la respuesta motora (Erickson, 2007). Esta precisión visual lo determinan habilidades como la AV estática, la sensibilidad al contraste, el campo visual, la visión cromática y la concentración visual. Sin embargo, el resto de habilidades visuales son imprescindibles tanto a lo largo del

entrenamiento diario y, sobre todo, en la competición, fundamentalmente cuantas más participaciones se realicen y cuantas más clasificaciones se logren.

3.3. El tiro olímpico

Las distintas especialidades del tiro olímpico recogidas por la federación española de tiro olímpico (RFEDETO, 2019) y publicado en el BOE del viernes 18 de julio de 2014 (núm. 174, sección III pág. 56852) se dividen en seis categorías: 1. Precisión, 2. Plato, 3. Armas históricas, 4. Recorridos de tiro, 5. Alta precisión y 6. F-Class. A su vez, cada una de estas especialidades se dividen en diferentes modalidades.

3.3.1. Precisión

Se tiene que alcanzar lo más cerca del centro, un blanco, estático o móvil, con dimensiones, características y distancia diferentes según la modalidad. Las categorías en que está clasificado por la Federación Internacional de Tiro Deportivo (ISSF) son: Olímpicas (Pistola aire comprimido, Carabina aire comprimido, Pistola deportiva, Pistola velocidad y Carabina tres posiciones) y no olímpicas (Pistola standard, Pistola fuego central, Pistola 9 mm, Pistola aire estándar, Pistola aire velocidad, Pistola libre, Carabina tendido damas, Fusil tres posiciones 300 m y modalidades para jóvenes promesas).

Las dos modalidades practicadas por los deportistas de nuestro estudio fueron de precisión con Pistola y Carabina aire.



Figura 1. Tiradores de pistola en galería de tiro

3.3.2. Pistola Aire

Esta modalidad se realiza en galería de tiro con condiciones reglamentadas tanto en distancia, aislamiento, iluminación y elementos de seguridad propios de cualquier centro deportivo (Figura 1).



Figura 2. Pistola de aire comprimido, cartuchos y gafas de tiro

El arma utilizada es corta donde las miras son abiertas, sin miras ópticas, espejo, telescopio, rayo láser, electrónico, punto rojo, etc... (Figura 2).

Según la normativa ISSF en el capítulo 7.4.1.5. (RFEDETO, 2019) sobre miras, las lentes correctoras y/o filtros no deben fijarse a la pistola. El deportista puede llevar gafas correctoras y/o filtros (Figura 3). Se puede usar cualquier pistola de aire comprimido, CO₂ o neumática de 4.5 mm que cumpla las tablas de especificaciones y el esquema de configuración de la pistola.



Figura 3. Campeón de España de pistola aire que ha realizado este estudio lleva filtros y ocluidores en gafas de tiro. (Foto cedida por el propio tirador)

En las competiciones con apoyo (especialidad para los más pequeños para su toma de contacto con el deporte del tiro) son mixtas y el número de disparos será de 20 en un tiempo máximo de 25 minutos tras un tiempo de preparación y ensayo de 10 minutos. La edad máxima es de 12 años. Utilizando blancos convencionales de papel, el tiempo de competición será de 30 minutos. La clasificación final individual consiste en una lista de los deportistas por orden alfabético sin puestos y con los puntos sin décimas. En competición sin apoyo los tiradores efectúan otro número de disparos en función de la categoría de la que se trate, así en alevín (de 11 a 12 años de edad), para ambos sexos, son 25 disparos en 30 minutos de competición y en blancos de papel es de 40 minutos, en infantil (de 13 a 14 años) para ambos sexos, 40 disparos de competición en 50 minutos y en blancos de papel es de 60 minutos, en cadete (de 15 a 16 años) igual, en juvenil (de 17 a 18 años) para ambos sexos son 60 disparos en 1 hora y 15 minutos y en blancos de papel, el tiempo de competición es de 1 hora y 30 minutos, en sub-23 (de 19 a 22 años), para senior en ambos sexos son 60 disparos en 1 hora y 45 minutos con balines de calibre 4.5 mm sobre un blanco de 16 cm dividido en zonas de 0 a 10 puntos situado a 10 m de distancia. Sólo los 8 mejores de la fase de competición disputan la final olímpica donde cada dos tiradas se va descartando el tirador con menor puntuación (Figura 4).



Figura 4. Campeón de España de pistola aire tirando en diana retro iluminada (Foto cedida por el tirador)

3.3.3. Carabina Aire

Se trata de un arma larga de un solo tiro que se debe cargar manualmente antes de cada disparo (Figura 5 y Figura 6).



Figura 5. Tirador de carabina aire entrenando a 10 m en galería de tiro (Foto autorizada por la tiradora)



Figura 6. Campeona de España de carabina aire y record de España (Foto cedida por la tiradora)

Según la normativa internacional ISSF, los visores delanteros o traseros pueden tener lentes teñidas o filtro polarizado pero las miras no pueden tener ningún sistema de lentes. No se puede fijar a la carabina ningún sistema que mejore la iluminación de la diana. Sólo se puede fijar una sola lente correctiva en la mira trasera o el deportista usar lentes correctivas o tintadas (Figura 7). Puede fijarse un oclisor o tapa ojo a la carabina o en la mira trasera. Este oclisor no puede tener más de 30 mm de ancho ni colocarse más allá de 100 mm desde el centro de la abertura de la mira trasera en el lado del ojo que no apunta. Se puede usar cualquier carabina que cumpla las medidas indicadas en el diagrama de medidas de la carabina y en la tabla de medidas del fusil (RFEDETO, 2019)



Figura 7. Gafas de tiro como lentes compensadoras (Foto autorizada por el tirador)

En una competición se realizan 60 disparos en 1h y 45 min con balines de 4.5 mm sobre un blanco de 5 cm de diámetro a 10 metros de distancia del tirador (competición). Para la final sólo se clasifican los 8 mejores que van eliminándose cuando cada dos tiros cuando tienen los peores resultados (Figura 8).



Figura 8. Tiradores de carabina aire en competición (Foto autorizada)

Un elemento necesario para la carabina es el Diopter (Figura 9). Este accesorio sirve para alinear el ojo y la diana utilizando el túnel como punto intermedio (Figura 10). El túnel va situado al final del cañón como se puede ver en la Figura 6.



Figura 9. Diopter de la carabina aire



Figura 10. Túnel visto a través del Diopter

Los blancos usados en los campeonatos de la Federación Española de Tiro Olímpico pueden ser de papel (Figura 11) o de puntuación electrónica (EST) (Figura 12) para las modalidades de precisión de carabina o pistola. Los blancos cumplen los requisitos recogidos en el apartado 6.3.2. y 6.3.3. de las normas ISSF internacionales. Las dimensiones de los blancos oficiales ISSF se recogen en el apartado 6.3.4. de estas mismas normas. En la distancia de 10 m, correspondiente a la de los tiradores analizados, el tamaño visible del blanco es de 170 mm x 170 mm para pistola, con un 10 interior de 5,0 mm ($\pm 0,1$ mm), un negro del séptimo a la décima zona de 59,5 mm ($\pm 0,5$ mm) y un grosor de línea de 0,1 mm a 0,2 mm y en carabina, el tamaño visible del blanco es de 100 mm x 100 mm, con un 10 interior de 5,0 mm ($\pm 0,1$ mm), un negro del séptimo a la décima zona de 59,5 mm ($\pm 0,5$ mm) y un grosor de línea de 0,1 mm a 0,2 mm.



Figura 11. Blanco en papel



Figura 12. Blanco de puntuación electrónica

3.3.4. Otras categorías

Plato

El objetivo consiste en romper platos. Las modalidades olímpica y deportiva dependen del número de platos, sus trayectorias y número de disparos. Las categorías del Platon son: Olímpicas (Foso Olímpico y Skeet) y Deportivas (Foso universal y minifoso). Los tiradores usan escopeta y cartuchos (RFEDETO, 2019).

Armas históricas

Usando armas originales o réplicas se trata de alcanzar el centro de un blanco o romper el mayor número de platos posibles. La modalidad depende de las dimensiones y distancias de los blancos. Las categorías de esta modalidad son: Miguelete, Maximilian, Minie, Whitworth, Cominazzo, Kuchenreuter, Colt, Mariette, Walkyria, Tanegashima, Vetterli, Hizadai, Tanzutsu, Donald Malson, Pennsylvania, Lamarmora, Manton y Lorenzoni.

Recorridos de tiro.

Se trata de diferentes ejercicios donde se dispara sobre objetivos móviles o estáticos, desde una o varias posiciones, puntuando tanto la precisión en los disparos como el tiempo en realizar los ejercicios. Existen varias modalidades en función de las características del arma utilizada. Las categorías de competición son: Open, Estándar, Producción, Clásica y Revolver.

Alta precisión

Se busca la mayor perfección posible en las armas, munición y ejecución de disparo para obtener agrupaciones del menor tamaño posible. Las características, blancos, distancias y formas de puntuación difieren en función de cada prueba. Las modalidades son todas deportivas y son las siguientes: Varmint ligero y pesado, Rifle de caza, Rifle de repetición, Rifle de Miras abiertas y BR-50.

F-Class.

El objetivo consiste en alcanzar un blanco estático en su centro a una distancia según la modalidad que puede llegar hasta los 1000 metros. Se utilizan rifles con visor telescópico con calibre y características según la modalidad. La posición es de tendido con un apoyo delantero y otro trasero. Las categorías de competición en F-Class son las siguientes: Open, F/TR, Rimfire Open y Rimfire Restricted.

Hay que apuntar que los tiradores objeto de esta tesis fueron de la categoría de precisión, más concretamente de carabina y pistola de aire comprimido.

3.4. *Análisis optométrico en el tiro*

Las pruebas optométricas utilizadas en el análisis de los tiradores olímpicos fueron fundamentalmente la motilidad ocular, el tiempo de reacción visual

(conjuntamente con la coordinación ojo-mano y ojo-pie), la visión binocular y la acomodación. A continuación, se detallará cada una de estas pruebas optométricas.

3.4.1. Motilidad ocular

La motilidad ocular es un proceso cognitivo que implica combinación de atención, memoria y percepción de la información visual. La acción de la motilidad ocular consiste en la recepción de estímulos visuales desde el campo periférico, correspondiente a la retina periférica y en el campo central, percibido en la fóvea. Gracias a esta capacidad, ambos ojos mantienen la fijación foveal de objetos en movimiento y en estático. Los dos ojos o globos oculares, los anexos como párpados o músculos extraoculares son una entidad indivisible con las conexiones nerviosas unidas al córtex visual. En este complejo sistema, hay dos subsistemas correspondientes al elemento motor y al sensorial. El subsistema motor realiza funciones de incremento del campo visual, alinear el objeto observado con la fóvea y mantiene alineados ambos ojos para conseguir la percepción haplopica. Por lo tanto, el subsistema motor está supeditado al subsistema sensorial que interviene en las fases decisivas de la visión binocular. (Verdú & Moreno, 2004)

La fijación ocular es un proceso dinámico controlado por muchas de las estructuras cerebrales implicadas en el control de los movimientos oculares, incluido el colículo superior, el cerebelo y la formación reticular. La decisión de mover los ojos no solo depende de las señales relacionadas con el objetivo del campo visual periférico, sino también del objeto fijado en fóvea, produciendo movimientos sacádicos y seguimiento suave.

La posición del ojo durante la fijación se controla activamente y depende de la actividad bilateral en los colículos superiores y el cerebelo medio-posterior; la interrupción de la actividad en estos puntos produce desviaciones sistemáticas en la posición del ojo durante la fijación y los movimientos oculares de seguimiento suave.

Los ojos no están completamente quietos durante la fijación, sino que hacen movimientos continuos, que incluyen deriva ocular y micro sacadas, controlados por los mismos mecanismos neuronales que generan movimientos sacádicos mayores. Los movimientos oculares fijos tienen grandes efectos sobre la percepción visual. La deriva ocular transforma la entrada visual de manera que aumenta la agudeza espacial; Las micro sacadas no solo mejoran la visión al reubicar la fóvea, sino que también causan cambios momentáneos en la visión análogos a los causados por movimientos sacádicos mayores (Krauzlis, Goffart, & Hafed, 2017).

Los estudios que comenzaron en la década de 1950 y continúan en el presente han intentado estudiar la visión durante la estabilización de la retina, una técnica que consiste en cambiar cualquier estímulo visual de manera que anulen todos los movimientos oculares concurrentes, proporcionando la visión en ausencia de cambio (Figura 13).

Sin embargo, ninguna investigación hasta la fecha ha logrado una estabilización perfecta de la retina, por lo que otros trabajos han ideado formas alternativas para contrarrestar el movimiento ocular, como estudiar la percepción de post-imágenes o imágenes ectópicas formadas por vasos retinianos, que son completamente estables con respecto al ojo. Sin embargo, otra investigación ha tomado el rumbo alternativo para controlar el movimiento del ojo mediante la instrucción para fijar la mirada, durante mediciones fisiológicas y / o psicofísicas concurrentes (Martinez-Conde & Macknik, 2017; Missal & Heinen, 2017; Zee, Jareonsettasin, & Leigh, 2017).

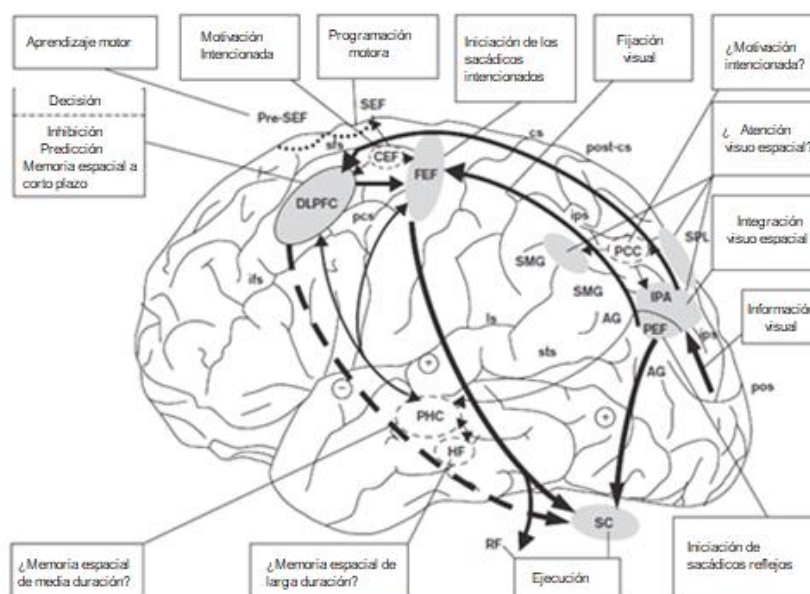


Figura 13. Efectos de movimientos oculares sobre la percepción. (Imagen adaptada de Pierrot-Deseilligny C, Milea D, Müri R. Eye movement control by the cerebral cortex. *Current opinion in Neurology* (2014); 17:17-25.)

Actualmente, el seguimiento ocular es un método factible para estudiar el proceso de atención y fijación de las descripciones del estado de salud en tareas de respuesta de elección discreta. El seguimiento ocular facilita la investigación de si los encuestados leen completamente la información en las descripciones de salud o si ignoran elementos particulares (Selivanova & Krabbe, 2018).

El examen visual de la motilidad ocular se inicia con la exploración de párpados, pupila, alineamiento pupilar y alteraciones como paresia o tortícolis. Se exploran

funciones como la mirada voluntaria o sacádicos, donde el ojo es capaz de dirigir la mirada hacia un estímulo determinado. El seguimiento visual, cuando el ojo sigue un estímulo en movimiento y movimientos reflejos, donde el ojo compensa un movimiento de cabeza de forma rápida, pero en sentido inverso (Nogales-Gaete, 2005).

Se deben explorar versiones o movimientos simultáneos de ambos ojos en la misma dirección y sentido. Esta medida nos permite comprobar la parálisis de un músculo realizando el procedimiento estándar. Actualmente se utilizan eyetracker o dispositivo de interacción con la cara o parte de esta con el ordenador o dispositivo electrónico.

3.4.2. Uso de eyetracker en la motilidad ocular

En la actualidad, esta herramienta de investigación se está utilizando más que nunca por analistas informáticos de comercio electrónico, en ciencias del deporte, en psicología cognitiva, neuropsicología y otras especialidades. Son instrumentos útiles para analizar los datos del seguimiento ocular (Burch, Chuang, Fisher, Schmidt, & Weiskopf, 2017; Holmqvist et al., 2011; Majaranta, 2011; Pflüger, 2014) (Figura 14).

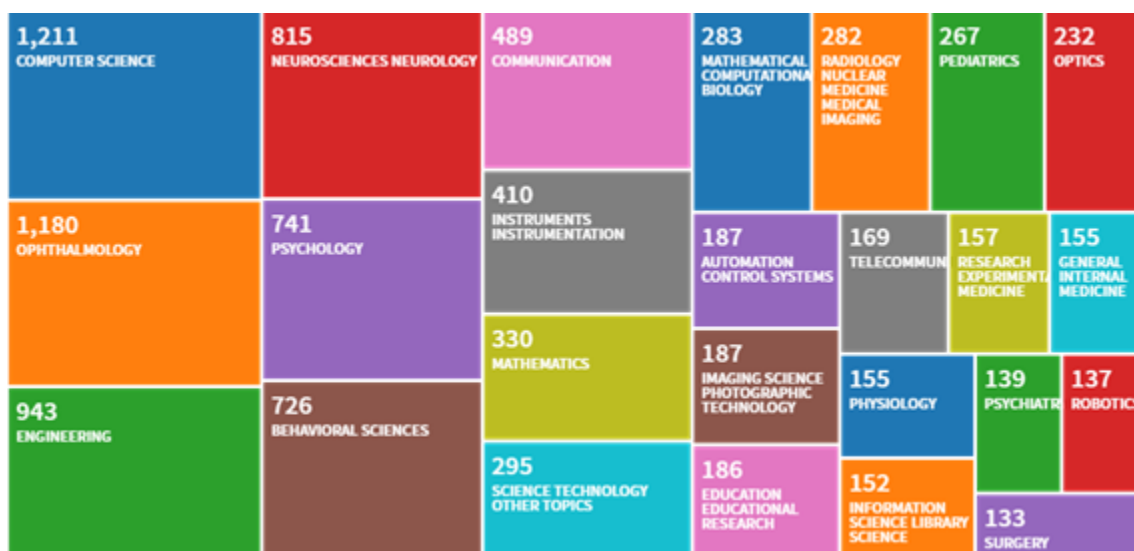


Figura 14. Resultado del análisis de las áreas donde se usa y publica sobre el eyetracker (fecha 22/02/2019). Fuente de WOS.

Los datos que se obtienen con el eyetracker se convierten en fijaciones y movimientos sacádicos utilizando algoritmos de detección de eventos, inspección óptica automatizada (IOA), mapas de calor y trayectos de exploración (Schmorrow & Fidopiastis, 2017). Es la opción no invasiva de interacción entre humano y el ordenador para conocer la respuesta pupilar. Se recogen datos de la dilatación pupilar, la línea de mirada y parpadeos (Schmorrow & Fidopiastis, 2017).

El eyetracker nos proporciona una valiosa información de los procesos cognitivos, en un tiempo real corto. Lo hace rápidamente, efectivo y automáticamente, al contrario que otras medidas equivalentes que necesitan instrucciones, entrenamiento, conciencia de la ejecución y unos interruptores para registrar la información (Bertenthal, 2015). El tipo de eyetracker varía según su estructura, objetivo, diagnóstico e interacción con la máquina. Hay dos posibles aplicaciones del eyetracker como son su uso como dispositivo de interacción (entrenamiento) y herramienta para evaluar (Burch et al., 2017; Duchowski, 2017).

El control de la motilidad ocular nos permite descartar fundamentalmente, todas aquellas personas con problemas de estrabismo o desviación manifiesta del eje visual respecto del punto de observación. Cualquier tipo de estrabismo o heterotropía horizontal, vertical u ciclotropía, puede producir un desequilibrio potencial en la línea de mirada, beneficiando un ojo sobre el otro. Esta descompensación originada por el estrabismo, impide valorar las diferencias reales entre dos ojos, combinados o de forma independiente.

3.4.3. Tiempo de reacción (coordinación ojo-mano y ojo-pie)

En una jornada normal, una persona debe hacer múltiples movimientos, usando sus brazos o piernas, para controlar o dirigirse a objetos o lugares situados a su alrededor y manipularlos de la mejor forma posible, porque de ello dependen todos y cada uno de los actos cotidianos, realizados de forma refleja, a una velocidad inusitada (hablamos de milésimas de segundo). Si el movimiento requiere un elevado grado de precisión temporal o espacial y la persona es habilidosa, la tarea tendrá éxito. El mecanismo de cada persona para lograr su objetivo, consiste en la recogida de la información visual, antes de comenzar el movimiento y sólo entonces, ejecutarlo, obteniendo mayor o menor éxito (Godefroy, Roussel, Despretz, Quaglino, & Boucart, 2010; Los & Horoufchin, 2011; Olivier, Weeks, Lyons, Ricker, & Elliott, 1998).

La capacidad sensorial normal, la motilidad ocular y las habilidades perceptuales, así como su integración, son esenciales para evaluar el éxito de tareas de elevada dificultad y en condiciones determinadas. En muchos deportes es habitual evaluar estas habilidades (Ciuffreda, 2011). Como afirman varios autores, el córtex parietal posterior (CPP) realiza transformaciones sensorio-motoras recibidas visualmente. Daños en el CPP pueden dificultar esas transformaciones sensorio-motoras en ausencia de problemas visuales o motoras específicas.

El área dorsal 5 del CPP es el destino donde se registran los datos codificados que provienen de ambos ojos y de acciones de respuesta de la mano. Los datos obtenidos en la región parietal adyacente indican que esta transformación se puede conseguir mediante sustracción vectorial entre la mano y la posición del estímulo, con ambas localizaciones representadas frente a las coordenadas centradas en los ojos. (Fautrelle, Gueugnon, Barbieri, & Bonnetblanc, 2013; Mackie, Van Dam, & Fan, 2013; Makris, Grant, Hadar, & Yarrow, 2013; Sylvain-Roy, Bherer, & Belleville, 2010)

El tiempo de reacción visual (TRV) nos permite discernir entre éxito y fracaso. El TRV se define como el intervalo de tiempo entre la aparición del estímulo visual y la detección de la respuesta (Ciuffreda, 2011; Peña-García et al., 2010). Esa diferencia entre éxito y fracaso ha de entenderse como un retraso de tiempo en la ejecución de la respuesta a un estímulo cualquiera respecto a la persona que es capaz de conseguirlo en el menor tiempo posible.

También puede entenderse como el tiempo suficiente para alcanzar el objetivo antes de producirse ese fracaso que puede consistir en rotura de un objeto que se cae al suelo por no alcanzarlo, el atropello en la calle por un vehículo al cruzar la calle a destiempo, no frenar a tiempo por llegar tarde al pedal correspondiente, recibir un gol por no saltar a tiempo a la captura del balón y así un sinfín de situaciones en la actividad diaria o profesional.

El TRV está compuesto por la suma de un componente sensitivo o tiempo premotor (TPM), que depende de las características del estímulo y un segundo componente, o tiempo motor (TM), que se supone constante e independiente de las variables de los estímulos. Las diferencias en TRV pueden reflejar la diferencia de la habilidad de percibir un estímulo y de responder al mismo, entre personas (O'Donnell & Colombo, 2008; Thomson et al.; A. J. Thomson, Nimmo, Tiplady, & Glen, 2009; Tu, Lin, & Chin, 2010). El TM, también llamado tiempo de movimiento, se define como el tiempo desde el comienzo de la acción hasta que finaliza (Neely & Heath, 2011).

Una opción utilizada con frecuencia para la medida de TRV, es el procedimiento “go/no go”. Éste consiste en detectar cambios en la imagen que se ofrece en pantalla e indicarlo pulsando la barra del teclado del ordenador (TM) (Aydarkin & Bogun, 2009), pero de esta forma, sólo se mide uno de los dos componentes. Buscamos un instrumento utilizado ya en visión deportiva que nos permitiera la medida de ambos tiempos

Hay varios factores que influyen en la medida de estos tiempos como son la edad, la fatiga, el tipo de estímulo, la colocación de la mano o pie, el uso de una o dos

manos para la ejecución, la mano o pie elegidos (lateralidad), la anticipación y el uso de uno o dos ojos, tal como lo presentamos a continuación:

En condiciones normales, la vejez y la fatiga aumentan el valor del TRV (tiempos más altos) o es más lento, esto supone menos habilidad (Ciuffreda, 2011; Davranche, Burle, Audiffren, & Hasbroucq, 2006). De la misma forma ocurre para estímulos periféricos frente a estímulos centrales con tiempos más largos si utilizamos los periféricos (Klapp, 2003; Marzi, Mancini, Metitieri, & Savazzi, 2006).

Según Roberts y Humphreys (2010), la selección táctil es más eficiente cuando las manos están separadas entre sí, fenómeno que se interpreta como rivalidad entre respuestas alternativas (Davranche, Audiffren, & Denjean, 2006; Hasbroucq, Burle, Vidal, & Possamai, 2009).

Para un buen número de autores, la ipso-lateralidad (lateralidad homónima, usando la mano preferida del mismo lado que el ojo de medida) en cerca, da resultados más rápidos del TRV (Bernardin & Mason, 2011; Hughes, Haddad, Franz, Zelaznik, & Ryu, 2011; Roberts & Humphreys, 2010). También hemos encontrado resultados con menor TRV en lateralidad cruzada, cuando se trata de zurdos (Buckingham, Bieńkiewicz, Rohrbach, & Hermsdörfer, 2015), por tener más capacidad para la ejecución de la acción, el hemisferio cortical izquierdo (Azémar, Stein, & Ripoll, 2008; Proverbio, Mazzara, Riva, & Manfredi, 2012).

Azémar G et al, (2008) obtienen resultados similares con deportistas de élite en distancias cortas, en deportes como el boxeo o en acciones a otras distancias, como en el tenis de mesa o la esgrima, donde además influyen la velocidad y tamaño del objeto a seguir. Proponen un ahorro en la transmisión de la información neuronal, al tratarse del mismo hemisferio cerebral donde se transmite. El uso de la mano no dominante produce más errores, pero señalan Przybyla, Good, & Sainburg (2012) que incluso en estas condiciones, se coordinan mejor los zurdos que los diestros, con cualquiera de las dos manos.

Para minimizar los errores de anticipación, la duración de presentación del estímulo en la medida de TRV, habitualmente se aconseja al azar (Ciuffreda, 2011; Kirsch & Hennighausen, 2011). Además no se han encontrado diferencias significativas entre el TRV binocular y monocular (Suttle, Melmoth, Finlay, Sloper, & Grant, 2011).

3.4.4. Visión binocular (heteroforia)

La visión binocular consiste en la coordinación motriz y sensorial de los ojos (Stidwill & Fletcher, 2010; Verdú & Moreno, 2004). Se deben cumplir una serie de características para lograr una visión binocular normal. Son necesarios una misma dirección visual, fusión motora, fusión sensorial, dominancia de ojo y finalmente, profundidad en relieve (Verdú & Moreno, 2004).

La visión binocular en el ser humano supone una serie de ventajas frente a la monocular. Entre esas ventajas están la visión simple respecto a la doble visión cuando los ojos no se combinan. Otra ventaja es la diferencia del punto de vista del ojo derecho y del ojo izquierdo, separado por la distancia interpupilar de unos 6 cm. Esto permite lograr la visión en relieve con aplicación inmediata en la identificación de un objeto desplazándose respecto del fondo. Gracias a la percepción del lustre se percibe también la curvatura del objeto (Stidwill & Fletcher, 2010).

La oclusión de un ojo puede ser una situación crítica en la fase de desarrollo produciendo incluso la pérdida de la visión en relieve de forma irreversible en estrabismos (Verdú & Moreno, 2004). Durante este periodo crítico, entre el año y 3 años de edad la información binocular aporta al córtex cerebral la compleja función binocular (Banks, Aslin, & Letson, 1975).

La pérdida de visión binocular no se puede utilizar como indicativo de daño cerebral pero los trabajos relacionados con este indicativo se relacionan fundamentalmente con el hemisferio derecho. Los síntomas ligados a estos problemas se producen descoordinación motora y/o sensorial. Al tapar un ojo o disociar ambos ojos, la mayoría de la población tiene una desviación latente o heteroforia disociada (Borràs García et al., 2004; de Agustín Vázquez, 2001; Evans, 2006).

La heteroforia es una condición normal, pero puede descompensarse dando lugar a síntomas y en ocasiones, desemboca en estrabismo. Los síntomas más habituales son fatiga visual, cefaleas, dolor ocular, deslumbramiento pasajero y en ocasiones, diplopía transitoria (Gabarel & Busquet, 2007).

El término de heteroforia disociada se utiliza en visión binocular para indicar el no alineamiento de los ejes oculares, al romper la fusión, respecto al punto de observación (Babinsky, Sreenivasan, & Candy, 2015; Gabarel & Busquet, 2007). Esta desviación latente desaparece en el momento que los dos ojos pueden ver el mismo estímulo simultáneamente. El tipo de heteroforia puede ser horizontal, vertical o torsional. Centrándonos en las horizontales, a su vez, según la desviación de uno o de los dos ojos respecto al estímulo, se indica que es exoforia cuando los ojos se desvían por detrás del estímulo, endoforia si lo hacen por delante del estímulo y si ambos ojos

coinciden en el estímulo o se produce desviaciones monoculares asimétricas compensadas (un valor equivalente de endoforia y exoforia) (Evans, 2006; Verdú & Moreno, 2004).

La heteroforia no es un problema por sí misma, siempre debe relacionarse con las capacidades o reservas fusionales de las que dispone el sistema visual. Cuando son escasas estas reservas fusionales respecto a la heteroforia se producirán la sintomatología (Hussaindeen et al., 2017; Palomo Alvarez, Puell, Sanchez-Ramos, & Villena, 2006; Parra & García, 2010).

3.4.5. Acomodación

Unas medidas importantes en el análisis optométrico son las variables acomodativas. Las pruebas rutinarias son la amplitud de acomodación, la flexibilidad acomodativa monocular y binocular, la acomodación relativa y el MEM (Momeni-Moghaddam et al., 2014; Vargas et al., 2018). Esta variable corresponde a la capacidad del ojo para enfocar cualquier objeto o imagen a una distancia más próxima que el punto remoto o lugar donde está teóricamente el foco en total reposo. Los límites entre los puntos más separados, donde se pierde el enfoque, corresponden al recorrido de la acomodación y su equivalente en dioptrías es la amplitud de acomodación. Por tanto, con esta variable vamos a conocer toda la capacidad de enfoque y desenfoque de cada ojo (Bobrow, 2008; Furlan, Monreal, & Escrivá, 2011; Parra & García, 2010). Cuando estos límites se activan, de la forma más rápida posible, permitiendo mantener el enfoque a cualquier distancia, dentro de ese recorrido, para una imagen nítida, en todo momento, analizamos la flexibilidad acomodativa. Esta variable se puede hacer para un solo ojo o para ambos simultáneamente (Alarcón, 2018; Borràs García et al., 2004; Ferrer, 2016; Peñalba, 2009; Rio, 2006; Salvador, 2010).

La acomodación relativa corresponde a la variación binocular de la capacidad de acomodar o relajar la acomodación cuando se converge en el plano de observación. Si los cambios en la acomodación no se ajustan al plano donde convergen ambos ojos además de ver borrosa la imagen podrían producirse dos imágenes de forma simultánea o diplopía. La acomodación relativa puede ser positiva (ARP) si mientras se ve una imagen simple se estimula la acomodación en un rango dióptrico concreto. Para su medida se utilizan lentes negativas que reducen el tamaño relativo del objeto observado. Si se produce una respuesta reducida y ve borroso de inmediato sin percibir diplopía, el problema acomodativo se debe a una insuficiencia de acomodación. En sentido contrario, la acomodación relativa negativa (ARN).

El MEM es una prueba objetiva para valorar donde el ojo observado enfoca con un margen relativamente pequeño en potencia dióptrica respecto del objeto. Es habitual no enfocar totalmente en el plano del objeto sino ligeramente algo menos, siendo necesaria menos potencia que la teórica por la profundidad de foco. Cualquier potencia mayor de lo normal indica exceso de acomodación forzando el sistema visual hasta su pérdida de efectividad y síntomas diversos.

3.5. ***Justificación***

El tiro con pistola y carabina de precisión es un deporte donde no se han realizado estudios de manera completa sobre las habilidades visuales, variables acomodativas y binoculares necesarias para controlar el estado visual de una manera más precisa.

La modalidad de tiro olímpico de precisión tanto con carabina como con pistola requiere, para llegar a niveles competitivos, de grandes tiempos de entrenamiento, pero hay ocasiones en que un entrenamiento no llega a mejorar la puntuación del tirador. Por ello es importante determinar las capacidades del mismo, no sólo físicas sino también visuales. Estas capacidades visuales pueden ser el factor disruptivo que mediante su evaluación y posible entrenamiento específico posterior hagan que un atleta de un salto significativo en su clasificación.

Al ser un deporte “minoritario” en la literatura científica hay un escaso número de estudios específicos sobre las habilidades visuales por ello se considera relevante introducir análisis ópticos y optométricos en esta disciplina.

Sin duda, cualquier tirador encuentra dispersión en el tiro ejecutado y tras una sesión de unos 60 tiros aproximadamente, de forma continuada durante ese periodo de una hora, se puede incrementar la pérdida de precisión. Como se observa en la Figura 15 aparecen los números de cada serie de 10 tiradas y los resultados en cada serie fueron 97,3, 96,0, 98,0, 94,3, 92,5 y 95,8 con tendencia hacia un resultado más bajo entre las 3 primeras series y las 3 siguientes. Estos datos corresponden a los obtenidos en la tesis y no implica que siempre suceda así puesto que dependerá del nivel competitivo, no se ha demostrado que esto ocurra así siempre. Esto puede suponer una pérdida en la puntuación sobre su puntuación máxima de 10,9. Esta imprecisión podría producir una bajada del rendimiento y/o variaciones de los parámetros visuales, además de los cambios físicos de un deportista que debe mantener la posición de pie y cargando el arma con absoluta inmovilidad en el momento de la ejecución.

Esta dispersión se observa también con el blanco en papel y de manera atractiva se ilustra a modo de ejemplo en una sesión de un tirador con una secuencia realizada en entrenamiento sobre este tipo de blanco (Ilustración 1)



Figura 15. Dispersión de 60 tiros en blanco electrónico



Ilustración 1. Secuencia en la pérdida de puntuación durante entrenamiento

Nuestro trabajo pretende serles útil en el conocimiento de la diferencia de las variables optométricas tras el entrenamiento con la medida de estas antes y después de la práctica deportiva. Esto nos permitirá darles, tanto al entrenador como al tirador, un informe que les permita conocer y subsanar sus defectos o al menos hacerles conscientes de los mismos para mejorar su resultado en cada tiro.

4. HIPÓTESIS

Las hipótesis del estudio fueron:

- 1) Los valores de ciertas habilidades visuales en tiradores pueden diferir de los de la población normal.
- 2) El nivel del tirador está directamente relacionado con unos determinados valores en ciertas habilidades visuales del tirador.
- 3) El entrenamiento deportivo influye de manera aguda en los valores de ciertas habilidades visuales del tirador.
- 4) El estudio de las habilidades visuales podría mejorar el entrenamiento si estas se trabajan.
- 5) El tirador de mayor ranking podría tener mejores habilidades visuales.

5. OBJETIVOS

Los objetivos del trabajo fueron los siguientes:

OBJETIVOS PRINCIPALES

- Establecer las condiciones optométricas básicas de tiradores de pistola y carabina de aire comprimido.
- Comprobar la influencia de factores como la edad y el nivel de tiro en la acomodación, visión binocular y otras habilidades visuales de los tiradores

OBJETIVO ESPECIFICOS

- Comparar ciertas habilidades visuales en deportistas de tiro olímpico con la población normal.
- Establecer si alguna de las habilidades visuales son determinantes para el rendimiento en la práctica del tiro.
- Estudiar la influencia del ojo director en la medida del tiempo de reacción.
- Comprobar el efecto de la edad en las habilidades visuales de los tiradores.
- Comprobar el efecto del nivel del tirador en las habilidades visuales de los tiradores
- Conocer el interés de los entrenadores tras el examen optométrico antes y después de una hora de entrenamiento.

6. MATERIAL Y MÉTODOS

La muestra procedía de distintos lugares para poder reunir un número significativo de tiradores olímpicos de armas y sedentarios de una edad similar. Tanto el material utilizado en los diferentes estudios como el investigador fueron el mismo en todas las ocasiones y tenía que desplazarse al lugar de trabajo para montarlo en un tiempo no mayor de 30 minutos. Hay que apuntar que el protocolo aplicado a los sedentarios duraba 1 hora y la de los tiradores olímpicos de casi 3 horas para completar la actividad propia de su entrenamiento.

6.1. MUESTRA

Los diferentes trabajos de investigación realizados reúnen un grupo de 85 personas alumnos del grado de Óptica y Optometría, 9 deportistas de élite y 31 deportistas federados de federaciones autonómicas. Las características de la muestra y su análisis estadístico descriptivo serán detalladas en el apartado de resultados.

6.2. MATERIAL

El principal instrumento de medida de habilidades visuales utilizado es el Wayne Saccadic Fixator (WSF) (Figura 16) y sus accesorios de medida.

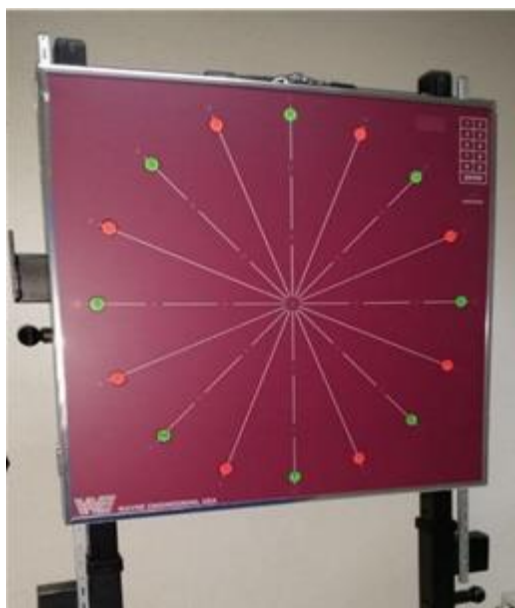


Figura 16. Wayne Saccadic Fixator

Se utilizaron equipos auxiliares para la evaluación objetiva y subjetiva de la refracción visual, otros para el control de la acomodación y visión binocular o la motilidad

ocular y ojo dominante. También se ha utilizado material para entrenar o mejorar funciones y habilidades visuales.

La lista completa de material de evaluación utilizado se enumera a continuación (listado por orden alfabético):

- ADEM (Adult Developmental eye movement)
- Conector infrarrojo Eyetribe® (Wayne engineering, Chicago)
- El speed-trac (Wayne engineering, Chicago)
- Equipo de Howard Dolman (Bernell, Indiana)
- La unidad de conexiones múltiples (Wayne engineering, Chicago)
- Gafas estroboscópicas marca Senaptec® (Bernell, Indiana)
- Un sensor infrarrojo (Wayne engineering, Chicago)
- Wayne Saccadic Fixator (Wayne engineering, Chicago)

Resto de material (auxiliar):

- Atril
- Caja de pruebas (Indo, Madrid)
- Diasporámetros de mano (Grupo Taper, Madrid)
- Fichas de control visual (en Excel)
- Flipper de ± 2 D
- Gafas de prueba oculus® (Oculus, Wetzlar)
- Linterna puntual
- Mando para la medida de la acomodación (Wayne engineering, Chicago)
- Metro
- Oclisor
- Oftalmoscopio (Heine, Herrsching)
- Optotipos de cerca (Bernell, Indiana)
- Optotipo de línea vertical (de la pantalla de optotipos y optotipo de cerca)
- Pantalla de optotipos CV 500 (Rodenstock, Dusseldorf)
- Programa Excel para cálculo del AC/A
- Programa informático Ogama®
- Reglas
- Reglas de esquiascopía (Luneau, Prunay le Gillon)
- Retinoscopio (Heine, Herrsching)
- Tarjeta horadada

6.3. Breve descripción de los materiales de evaluación

6.3.1. ADEM

Utilizado en adultos para dificultar la tarea puesto que a diferencia con el DEM usado en niños, se trata de números con dos dígitos normalizados para el control de los movimientos oculares. Se ha utilizado en forma de diapositivas incluidas en el programa Ogama® que te permite la generación de planos a visualizar. Las dos diapositivas de lectura vertical (Figura 17 y Figura 18) juntas tienen un total de 80 números de dos dígitos que resultan ser los mismo que en horizontal (Figura 19) presentados en una sola diapositiva.

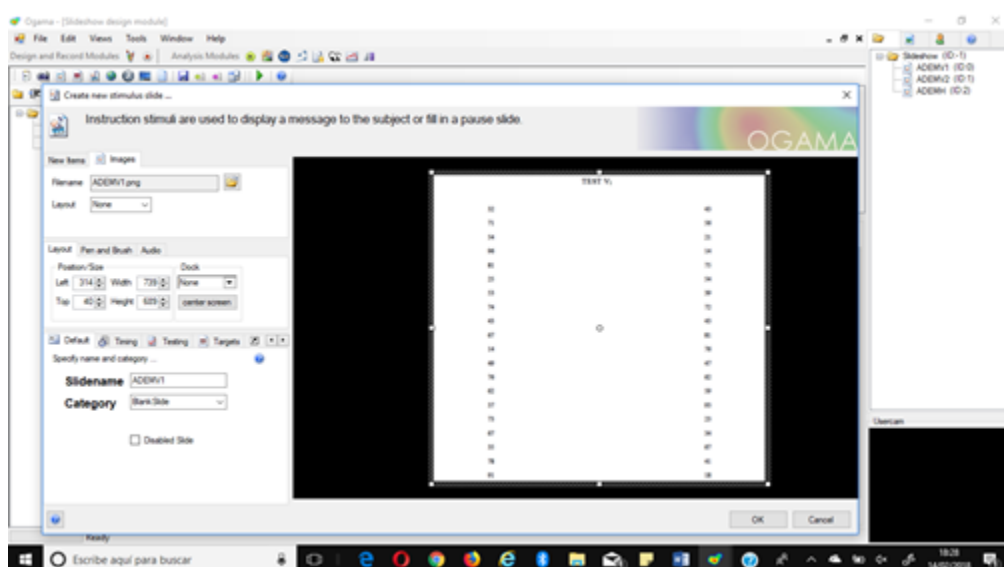


Figura 17. Captura de pantalla del test V1 de lectura vertical del ADEM

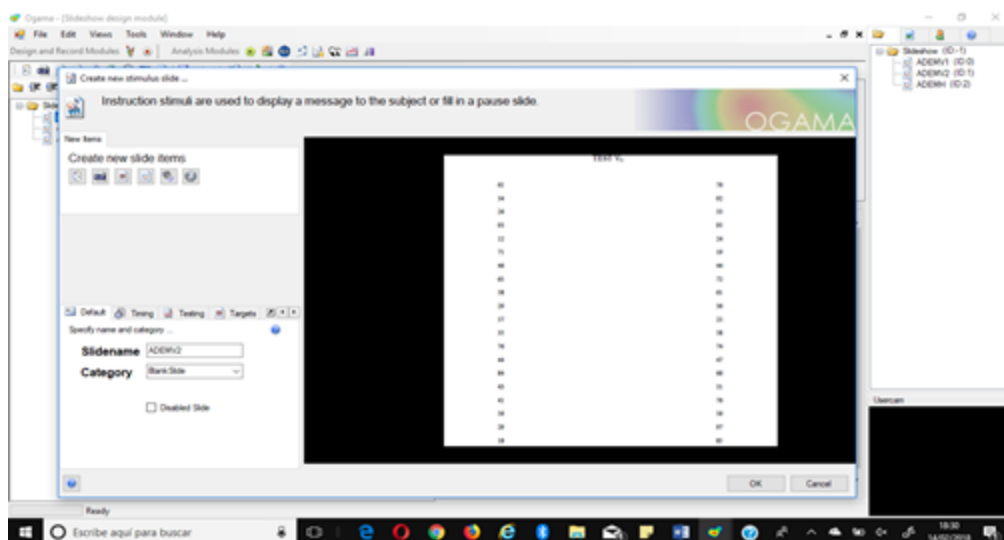


Figura 18. Captura de pantalla del testV2 de lectura vertical

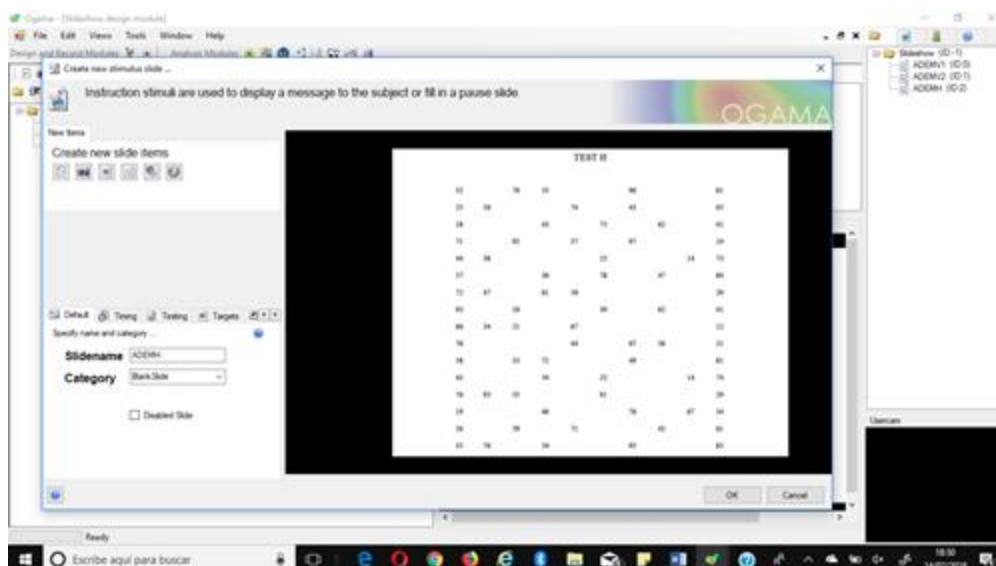


Figura 19. Captura de pantalla del test H de lectura horizontal

6.3.2. Conector infrarrojo Eyetribe®

Se utilizó para interactuar con el programa Ogama® conectado a un cable usb 3.0 de 1 m (USB A plug – USB micro-B plug) colocado delante de la pantalla y calibrado para interactuar con los ojos de cada paciente a explorar (Figura 20).



Figura 20. Conector infrarrojo Eyetribe®

6.3.3. Speed-trac

Consiste en una banda de goma que incorpora una fila de LED rojo y uno central verde. Se utiliza para la medida de la anticipación visual y su portabilidad permite adaptarlo a diferentes alturas. Su tesitura permite modificar su disposición. La conexión se realiza directamente en la unidad de conexión múltiple (Figura 21).



Figura 21. Speed-trac

6.3.4. Equipo de Howard Dolman

Utilizado para la medida de la estereopsis de lejos en condiciones reales. Sus unidades están en mm alrededor del cero correspondiente al vástago izquierdo, inmóvil con límites en escala de 0 mm o 0,00 hasta 50 mm o 72,63 segundos de arco a 3 m de distancia (Figura 22).



Figura 22. Equipo de Howard Dolman

6.3.5. La unidad de conexión múltiple

Nos permite la conexión de todos los accesorios utilizados para obtener los resultados con el programa interesado. Dispone de accesos para terminales Jack donde se puedan conectar interruptores de pie y otros cuatro de puerto paralelo, para la conexión a la membrana principal, speed-trac y el mando para acomodación (Figura 23).



Figura 23. La unidad de conexión múltiple

6.3.6. Las gafas estroboscópicas marca Senaptec®

Se utilizan para ocluir de forma monocular o binocular. Utilizan lentes de cristal líquido que pueden oscurecerse o aclararse para permitir una mayor o menor oclusión (Figura 24). Se pueden modificar los programas originales y crear unos nuevos para modificar la velocidad de oclusión utilizando la aplicación “Strobe” para Smartphone (Figura 25).



Figura 24. Gafas estroboscópicas

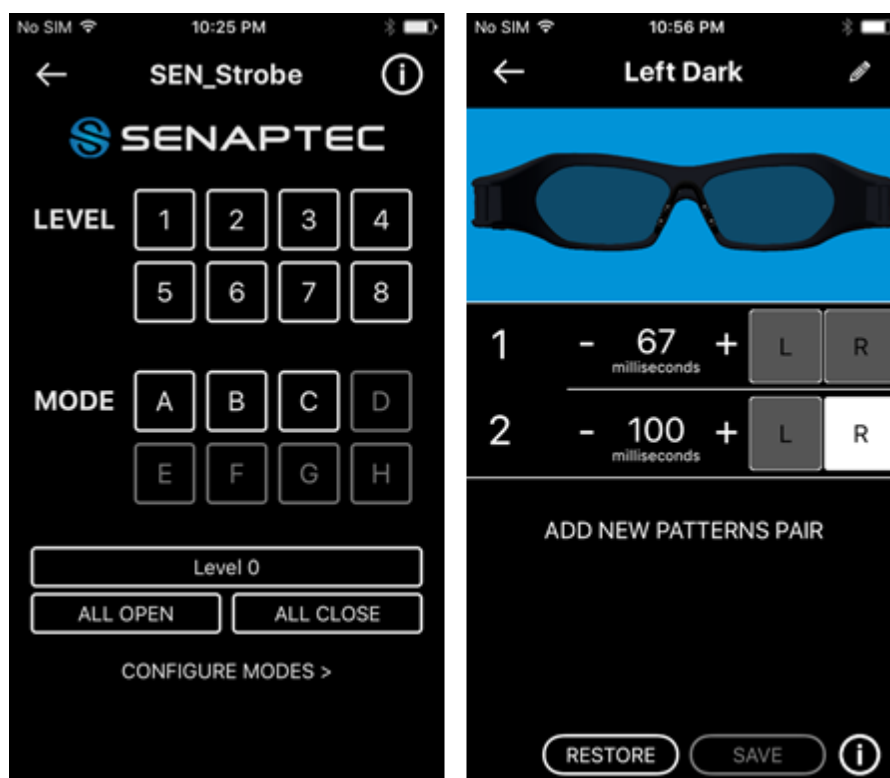


Figura 25. Dos partes de la aplicación para móvil “strobe” para las gafas estroboscópicas

6.3.7. El sensor infrarrojo

Accesorios que permite interferir la señal emitida e interrumpir el programa utilizado, para la medida de cualquier habilidad (Figura 26).



Figura 26. Sensor infrarrojo

6.3.8. Programa Excel para cálculo del cociente acomodación convergencia (AC/A)

Donde se utiliza una fórmula del AC/A por el método de la heteroforia y con los datos de las forias de lejos y cerca, así como la distancia interpupilar de lejos, anotados en el formulario de datos correspondiente, calcula automáticamente en la casilla destinada para el resultado, el numerador del AC/A (Figura 27).

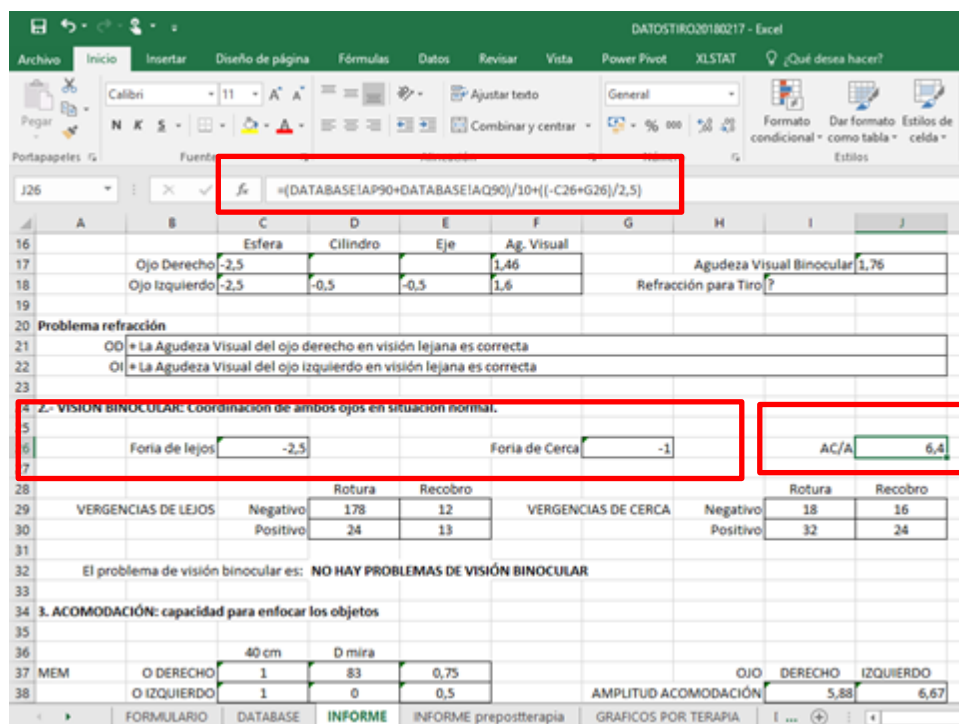


Figura 27. Captura de pantalla de apartado del cálculo del AC/A y fórmula, donde AP90 corresponde a la distancia naso pupilar derecha y AQ90, izquierda de la base de datos y C26 a la foria de lejos, así como G26, la foria de cerca

6.3.9. Programa informático Ogama®

De uso libre utilizado en entorno Windows 10 con opciones de generar las diapositivas a presentar en distintos formatos y diferentes secciones para grabar el movimiento de los ojos a la par que el dispositivo infrarrojo registra esa información para resultados gráficos y estadísticos de diversos tipos (Figura 28).

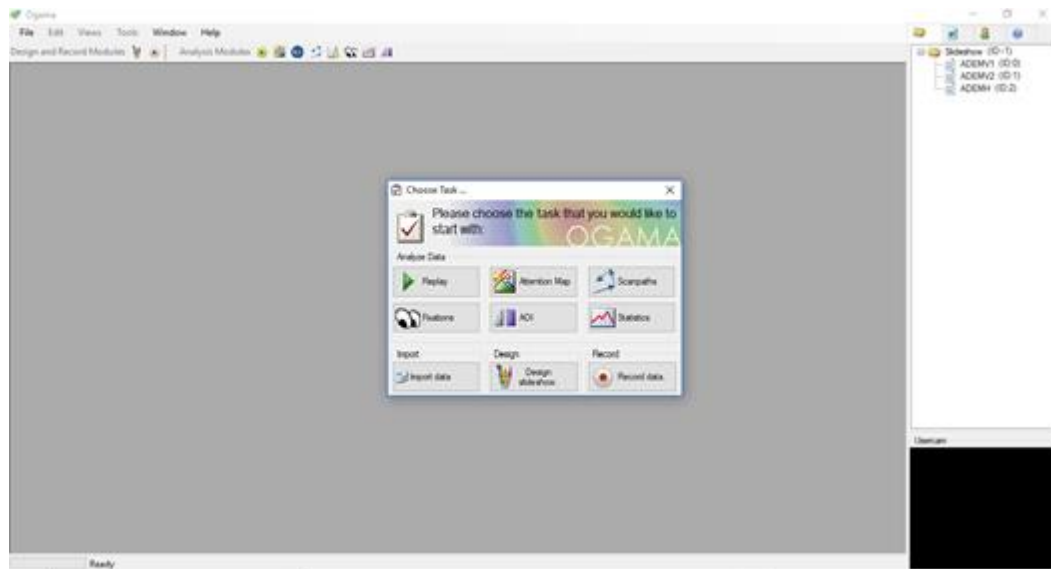


Figura 28. Programa informático Ogama®

6.3.10. El mando para la medida de la acomodación

Es un accesorio de mano para interactuar con el WSF (Figura 29).



Figura 29. Accesorio de mano

6.4. MÉTODOS

Tras un detallado estudio y análisis de los protocolos más usados en el estudio de la visión en diferentes grupos de poblaciones no deportistas y deportistas de diferentes disciplinas, utilizando metodología optométrica básica y específica, se decidió realizar una batería de ensayos específica para este estudio. Los protocolos realizados y los motivos por los que se han utilizado se muestran a continuación.

El trabajo se dividió en 7 partes:

- a) Pruebas en común y evaluación del estado visual de la población total analizada. (un total de 109 participantes medidos).
- b) Evaluación del estado visual de una población de deportistas de tiro olímpico.
- c) Evaluación del estado visual de una población de deportistas de tiro olímpico.
- d) Variación del estado optométrico con el ejercicio del entrenamiento simulado de competición de los deportistas de tiro olímpico.
- e) Variación del estado optométrico con el ejercicio del entrenamiento simulado de competición de los deportistas de tiro olímpico.
- f) Conocer el interés de los entrenadores por la intervención.
- g) Descripción del análisis estadístico

Se han utilizado el paquete estadístico Statgraphics centurión XV y el programa SPSS 25 para el análisis de los datos. El nivel de significación fue menor de 0.05.

El análisis comenzó evaluando la normalidad estadística de las variables de las dos poblaciones medidas por medio de las pruebas de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk. Como la mayoría de las variables no presentaron distribuciones normales, se utilizó estadística no paramétrica para analizar y exponer los resultados obtenidos.

Se reflejan en los resultados valores de frecuencias, porcentajes, el número de participantes (N), la media, la desviación estándar (DT), el mínimo, el máximo y la mediana. Esta última fue elegida para representar la tendencia media de la muestra al tratarse de variables sin distribución normal

Posteriormente se procedió a realizar análisis de chi-cuadrado de Pearson, corrección de continuidad, razón de verosimilitud y la prueba exacta de Fisher además

de la U de Mann-Whitney, W de Wilcoxon y prueba de rangos con signo de Wilcoxon para establecer las relaciones entre variables y establecer las diferencias significativas en las pruebas de refracción, acomodación, visión binocular y/o las habilidades visuales.

Tras las distintas intervenciones, tanto en el consejo superior de deportes con los tiradores de élite de tiro de precisión, se procedió a valorar de forma cuantitativa y cualitativa el interés de la evaluación optométrica de los tiradores por parte de los entrenadores.

Durante el periodo de la toma de datos, el centro de alto rendimiento del Consejo Superior de deportes tuvo dos seleccionadores. El primero fue Piotr Kosmatko, especialista en carabina y este fue sustituido por Luis Miguel Pérez, especialista en pistola. En la federación madrileña de tiro olímpico, contamos con la inestimable ayuda del entrenador autonómico, Juan Carlos López, especializado en carabina. A los tres se les solicito que valoraran de manera cualitativa la colaboración prestada y que posteriormente, valoraran en una escala de 0 a 10.

Una vez completada la primera ficha según el apartado 5.4.3. sobre el estado visual de todos y cada uno de los tiradores, se realizaba por segunda vez, la misma ficha, en las mismas condiciones, tras una sesión de entrenamiento de un tiempo de 60 minutos, con tiros en la galería, planificado por los dos entrenadores con los que hemos trabajado, tanto el entrenador nacional como el de la federación madrileña. (ANEXO 1: *Ficha inicial de control visual*)

Con esta información se pretendía conocer las diferencias en cualquier variable visual, producida por el trabajo habitual en el entrenamiento de una sesión precompetitiva.

Para conseguir la aleatoriedad en la medida, se pidió inicialmente al deportista que pulsara, en un programa para móvil, generado por el autor, en la aplicación sketchware. Así se obtenía el número de la prueba con la que empezamos, numeradas previamente e impresas en una plantilla, para marcar las que se van realizando hasta lograr completarlas todas.

6.4.1. Pruebas en común y evaluación del estado visual de la población total analizada.

Las pruebas en común entre las poblaciones sedentarias y de los diferentes centros donde se prestó servicio a los tiradores de carabina y pistola de aire comprimido fueron:

La distancia naso pupilar, Agudeza visual monocular y binocular, la retinoscopía estática, la refracción subjetiva para la obtención de la máxima potencia positiva con la mejor AV, las forias de lejos y cerca, el ojo y mano dominantes, el tiempo de reacción visual y la coordinación ojo-mano.

En primer lugar, se solicitaba el consentimiento informado, aprobado por el comité ético de investigación clínica del hospital clínico San Carlos (C.I. 18/428-E), tras la lectura del mismo y su posterior firma. Se realizaba una anamnesis, con la información de los datos personales del paciente (nombre y apellidos, fecha de nacimiento, género, teléfono, problemas de salud, problemas visuales, refracción habitual en gafas o lentes de contacto y en deportistas, entrenador, mejor marca y si usaban gafas especiales en su deporte). El examen completo se efectuaba durante un tiempo estimado de entre 50 minutos a 1 hora. Todos los datos se recogían en una hoja Excel para volcarlos en la base común de datos.

La **distancia naso pupilar, derecho e izquierdo**, se midió con reglilla y con el método de alineamiento alternante de los ojos del observador de forma voluntaria. El procedimiento consistió en la oclusión o guiño de un ojo, por parte del observador, para pedirle al paciente que mire al ojo que permanece abierto, mientras mide la distancia entre el centro del tabique nasal y el centro de la pupila. Primero se mide la distancia al ojo derecho y una vez realizada, el observador guiña el segundo ojo para hacer la medida del ojo izquierdo.

La medida de la **Agudeza visual monocular y binocular**, se realizó utilizando un optotipo de letras comprendidas entre 0,05 hasta 2. Para la primera parte del procedimiento de esta variable se ocluye un ojo y se mide el ojo descubierto con la compensación habitual. En esta fase se admiten todos los ojos. Se utilizó la escala decimal.

La **retinoscopía estática** es una prueba objetiva realizada de forma subjetiva por el observador. Consiste en la proyección de una luz blanca a través de la pupila del ojo para ver el reflejo de retina a través de esta lucarna de entrada. Cuando la luz que retorna del fondo del ojo coincide con la posición del retinoscopio o instrumento que emite la luz, se percibe el punto neutro. Si este punto se consigue sin lentes, la retinoscopía bruta es cero. Si la luz de retorno focaliza delante del retinoscopio, se observan luz y una sombra que se mueve en el sentido inverso al movimiento necesario para que se produzca este efecto. En este caso es necesaria una lente de potencia negativa para llegar al punto neutro y cuando lo hace por detrás del retinoscopio, la lente

tiene que ser positiva. Para un proceso más rápido, se utilizaron reglas de esquiascopía, pero el resultado corresponde a la lente o combinación de lentes para lograr el punto neutro a unos 66 cm o distancia del brazo desde donde se explora. Para lograr el valor de la ametropía esférica o esfero cilíndrica, llamada también retinoscopía estática neta, es preciso sumar la inversa de la distancia de trabajo real (alrededor de esos 66 cm). La combinación con cilindros se realiza cuando se neutralizan la sombra en una dirección y con la lente puesta no ocurre en una segunda dirección. La medida se hizo en Dioptrías (D).

Con el valor de la retinoscopía estática neta, se realizaba la refracción subjetiva para la obtención de la máxima potencia positiva con la mejor AV. Esta prueba se hace habitualmente afinando el resultado de la esfera y/o cilindro con su eje obtenido en la prueba objetiva monocularmente. Una vez logrado se miopiza binocularmente y se reduce la potencia en exceso para lograr el valor más positivo con la mejor AV. Se utilizó la escala decimal.

Con la mejor compensación en gafas posible, se descartan los ojos con AV menor de 0.9. Entonces se realizaron pruebas de visión binocular, como la motilidad ocular, punto próximo de convergencia y el cover test para descartar estrabismos.

La motilidad ocular medida, a toda la población, fue la doble H o recorrido seguido por ambos ojos tras una linterna puntual. Con esta maniobra se supervisa si alguno de los 12 músculos extraoculares tiene algún problema de paresia o parálisis. Se anotan las siglas correspondientes a Pupilas Isocóricas Redondas Reactivas a Luz y Acomodación (PIRRLA) en el caso que todo sea acorde a la normalidad (pupilas isocóricas redondas reactivas a la luz y acomodación)

El **punto próximo de convergencia** se realizó utilizando una linterna puntual acercándola desde una distancia alejada unos 50 cm hasta un punto en el cual, la persona ve doble o un ojo deja de estar alineado con la linterna. El procedimiento correcto exige que la luz apunte al tabique nasal y siempre se mueva en el plano medio horizontal y vertical. Se mide en cm.

El **cover test** se realizó con un oclisor de mano tapando primero el ojo izquierdo y observando el posible movimiento del ojo derecho destapado (cover simple) para descubrir el ojo izquierdo para ver si ahora el movimiento se produce fundamentalmente en ese ojo, pero sin perder de vista el del ojo derecho (cover uncover). Esta maniobra se repite de nuevo empezando con la oclusión del ojo derecho y finaliza ocluyendo

alternativamente cada ojo (cover alternante) para realizar la neutralización del movimiento observado, en su caso y con ello, la medida en Δ .

Cuando no aparecía ni ambliopía ($AV \leq 0.8$ en población adulta visualmente) ni estrabismo o desviación manifiesta, se midieron las forias de lejos y cerca, el ojo y mano dominantes.

El **control de la visión binocular** se realizó con las forias disociadas, vergencias fusionales y la medida del AC/A utilizando diasporámetros, línea vertical y Optotipo de cerca.

La **foria o heteroforia** consiste en la desviación latente de los ojos. Para medir esta variable es necesario romper la fusión o disociar las dos imágenes correspondientes a cada ojo, para alinearlas de nuevo o fusionarlas utilizando una cantidad de dioptrías prismáticas. La unidad es, por tanto, la Δ .

Esta prueba se realizó con dos diasporámetros de mano. Uno de ellos de 6 Δ dispuesto con base vertical y el segundo con 12 Δ de base interna (Figura 30).



Figura 30. Foria horizontal (foto del autor autorizada por el tirador)

Fue indiferente en que ojo se colocara uno y otro. Con una línea vertical en la pantalla de optotipos se medía el alineamiento de las dos imágenes producidas por los prismas, al variar el diasporámetro de 12 Δ . Si el resultado final era cero, se trataba de una ortoforia o alineamiento de ambos ojos con la línea vertical, tanto en lejos como en cerca. Si el resultado final fuera de base interna, se trataría de exoforia y de base externa, endoforia o esoforia.

La prueba 9-36 con el WSF trata de evaluar la coordinación ojo-mano, para ello, una vez comienza la prueba, el sujeto debe pulsar las luces lo más rápidamente posible.

(Figura 31 y Figura 32). La prueba consistió en pulsar las luces que se activan en pantalla y después de hacerlo, las luces aleatoriamente pasan a otros puntos en pantalla, para contabilizar en un minuto, el número de veces a los que lograba pulsar antes del final del tiempo. La distancia de los ojos fue de 40 cm, utilizando para el control, una regla translúcida de metacrilato. Se mide en pulsaciones por minuto (ppm).



Figura 31. Medida de la coordinación ojo-mano con WSF en las instalaciones de la federación madrileña de tiro olímpico (Foto del autor autorizada por el tirador)

Cada programa almacenado en el instrumento WSF reúne unas características predeterminadas, en base a una escala de números de 1 hasta 9.

El número 1 corresponde a la actividad a realizar (auto encendido, pulsación automática, velocidad con ajuste, uso de speed-trac, memoria visual, tiempo de reacción visual o auditivo, test de autor, cuenta, ritmo sincronizado y visión periférica). Se pueden elegir después de marcar el 1, un segundo número en la pantalla entre 1 y 18, correspondientes a las actividades indicadas.

El número 2 corresponde al tiempo límite de la prueba. Se puede seleccionar entre 1 y 999 segundos de duración.

El número 3 modifica la velocidad de aparición de los estímulos por minuto. Se puede variar entre 1 y 999 luces por minuto.

El número 4 proporciona el sentido y dirección del movimiento de aparición de las luces. Puede ser a favor de las agujas del reloj, en contra, saltos aleatorios, en horizontal, de izquierda a derecha, en vertical, de arriba abajo, en diagonal, solo las

luces de los anillos exteriores, también a favor y en contra de las agujas del reloj. Se puede añadir con un segundo número entre 1 y 9.

El número 5 selecciona las luces que se van a encender pudiendo hacerlo con las 33, solo las 16 luces exteriores, 4 luces en las posiciones cardinales o las 8 luces interiores. Se anota como segundo número entre 1 y 5.

El número 6 corresponde a límite en unidades de tiempo de 1/10 de segundo para bloquear la respuesta e impedir la anotación si no se realiza la acción solicitada antes del tiempo seleccionado.

El número 7 modifica la emisión de la luz produciendo destellos.

El número 8 sirve para almacenar nuevos programas no predeterminados con la secuencia de número del 1 al 7, anteriores con el fin de repetir las medidas en las condiciones deseadas por el optometrista.

En este caso, el programa 9-36 utilizado para la coordinación ojo-mano:

En el número 1 se anota la actividad de medida para auto ritmo con modificación de la velocidad de las luces.

En el número 2, se estableció el tiempo en 60 s.

En el número 3 va sin información pues no hay variación de la velocidad.

En el número 4 se anota cambio de diferentes posiciones aleatorias de los LED.

En el número 5 se anota el número 3 (16 luces del círculo externo).

No se utiliza el número 8 por que no es necesario almacenar el programa puesto que se trata de uno de los programados de fábrica y con el 9 se activa ese programa 36

La última medida fue la del tiempo de reacción visual dividida en dos valores, el tiempo premotor o visual (TV) y el tiempo motor (TM). Se realizaron utilizando el programa del WSF 9-70.

En el número 1 iba incluida la actividad 13 o tiempo de reacción para soltar y señalar con ojo y mano

En el número 2 se añadió el tiempo 5 que equivale a un límite de tiempo de 5 segundos antes de preseleccionar.

En el número 3 no hay velocidad señalada.

En el número 4 se ha utilizado el patrón 3 para que las luces cambien de posiciones aleatoriamente.

En el número 5 se anotó el número 1 que equivalen a todas las luces.

En los números 6 y 7 se apuntó 0.



Figura 32. Tirador de carabina durante la prueba de coordinación ojo-mano (foto del autor autorizada por el tirador)

La medida consistió en pulsar el botón de inicio (color verde) y esperar al encendido de la luz roja situada en la vertical inferior correspondiente a la letra C. Esta segunda luz se enciende aleatoriamente en tiempo. Una vez pulsada se obtienen los valores buscados de los tiempos de reacción. Por un lado, el tiempo premotor y en segundo lugar el tiempo motor (aparece el tiempo con un punto detrás) para desplazar la mano en pantalla, 32 cm. Estas medidas son en milésimas de segundo (Figura 32 y Figura 33).

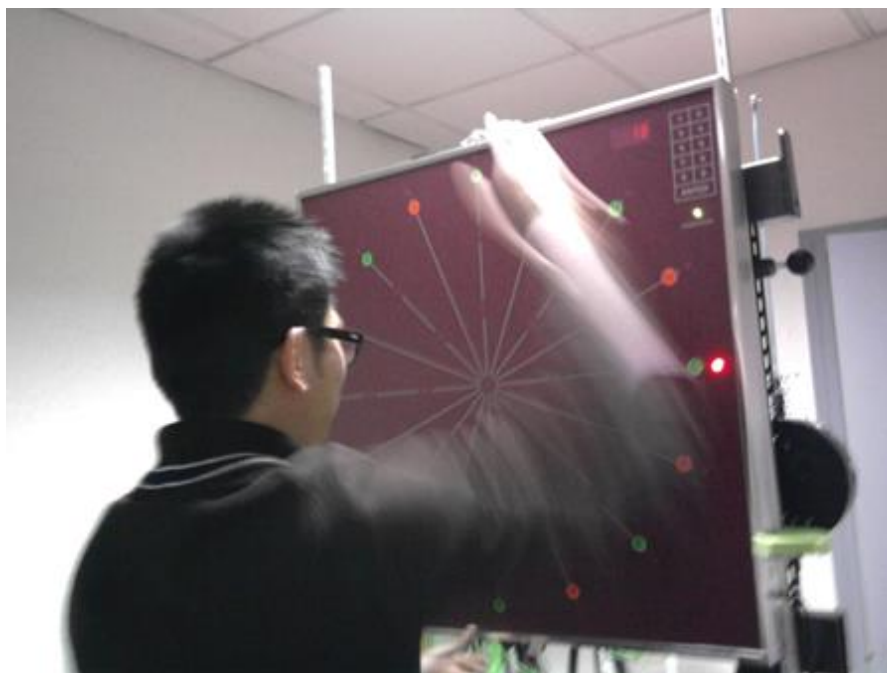


Figura 33. Sedentario en la medida del tiempo de reacción visual en la Fac, de Óptica y Optometría UCM

6.4.2. Evaluación del estado visual de una población de alumnos del grado de Óptica y Optometría como grupo control sedentario

Esta evaluación consistió en medir las características visuales de una población sedentaria elegida aleatoriamente del grado de Óptica y Optometría. Se utilizaron las pruebas en común mencionadas en el apartado 6.3.

Se utilizaron otras pruebas para la evaluación de habilidades visuales como el Tiempo de Reacción Visual (TRV) además de con la mano en pantalla, con un mando de mano a 2 m y con pulsadores de pie. Se realizaron las medidas con la mano, tomando en cuenta tanto el ojo dominante como el no dominante.

Los estudios sobre el TRV se han relacionado en otros trabajos, con la aparición de ciertas enfermedades, tratamientos farmacológicos o cualquier cambio del comportamiento físico o mental del individuo, en definitiva, se analizan retrasos en los tiempos de la población mermada psicofísicamente.

Hemos considerado interesante conocer la información que caracteriza a una población sedentaria aleatoria respecto al género, la edad, la lateralidad o dominancia de la mano y la dominancia de ojo. El protocolo para esta población sedentaria consistió en la realización de las pruebas de una ficha 1 de refracción básica, medida de visión binocular y acomodación, además del control del tiempo de reacción y coordinación ojo-

mano además de ojo-pie, con determinación del ojo director. (*ANEXO 1: Ficha inicial de control visual*)

Las variables registradas fueron género, mano dominante, años, altura, refracción, AV mono y binocular, DIP, ojo director en lejos y cerca, Foria real a 2 m y en cerca, en cm y Δ , foria disociada con diasporámetros de mano cerca, foria medida por método de Torrington tanto en horizontal y con inclinación inferior de 15° , motilidad por ojo, coordinación con varias opciones, tiempo de reacción dividido en tiempo visual y motor, con la mano y con el pie. Un total de 100 datos para cada sujeto, teniendo en cuenta la medida de los dos ojos por separado y repeticiones de algunas variables.

El estudio sirvió de información inicial para el control de las pruebas básicas y avanzadas de una población sedentaria.

En la comprobación de la mano dominante se ha recurrido a algunos elementos de los test de Harris, Zazzo y Bergea (Axelsson, Fredrikson, Nilsson, Andersson, & Karrholm, 2018) utilizando una tarjeta horadada.

En el examen binocular se incluyó, además de la foria disociada, una medida novedosa de la foria utilizando un instrumental originado por el equipo para su valoración. Esta nueva variable se ha denominado foria real, utilizando el instrumento inventado por el grupo, actualmente patentado con el número ES2430600 B2 (Bernárdez Vilaboa, 2015), que consiste en un sistema para la medida de la heteroforia. Este instrumental comprende una barra de sección angular como soporte y una escala milimetrada. Contiene dos optotipos con la opción de retirarse de la barra para alternar las dos distancias elegidas (40 cm y 2 m). Los optotipos están escalados en dioptrías prismáticas e incorporan luz LED en el centro de las tarjetas y un segundo LED en cada posición, insertado en la propia barra para la observación directa sobre la escala. (Test de Torrington) (Figura 34).



Figura 34. Medida de la Foria real (foto del autor autorizada por el estudiante)

Todo se disponía en un trípode para ajustar al paciente e inclinar el ángulo que sea necesario en la medida de la foria en cualquier dirección e inclinación. Para obtener la foria real se midió directamente en la barra, la posición donde la persona consigue cruzar la imagen doble de la barra, al fijar en el punto de referencia o LED. Esa diferencia respecto del estímulo, en Δ , era el valor negativo o positivo de la foria. Se confirmó, utilizando el mismo instrumento, el valor de la foria por un segundo método adicional, el método de Torrington y con el uso de diasporámetros de mano.

También se realizó la motilidad ocular a 40 cm y 2 m con el procedimiento estándar o técnica de la doble H, donde se comprueba el adecuado seguimiento de una linterna puntual sin la aparición de estrabismos, en ninguna de las posiciones de mirada o analizar la posible aparición de movimientos asociados de cabeza o de cuerpo, para anotarlos y repetir la prueba solicitando al voluntario que los evite.

6.4.3. Evaluación del estado visual de una población de deportistas de tiro olímpico.

Para esta evaluación del estado visual en tiradores se repitieron las pruebas comunes utilizadas con los alumnos de la Facultad de Óptica y Optometría. En este caso, se han utilizado diversas fichas, elaboradas en Excel, para almacenar la información en una base de datos común. Las pruebas utilizadas fueron de refracción optométrica, acomodación, visión binocular y habilidades visuales. Estas primeras pruebas, recogidas en la ficha inicial, sirvieron para identificar posibles problemas y

anomalías visuales y poder hacer posteriormente, en el apartado de resultados, una comparativa de estos deportistas de tiro olímpico con la población sedentaria (Anexo 1).

En la primera sección de la ficha, se realizó la anamnesis con los datos del código asignado a cada deportista, su nombre y apellidos, la fecha de la medida, la hora, la fecha de nacimiento, la especialidad (carabina o pistola de aire comprimido), el club de origen antes de ser seleccionado por el equipo nacional, el entrenador, el teléfono de contacto para enviar por WhatsApp, el informe final de su estado refractivo y el resto de datos, un apartado para hacer referencia al tipo de ficha realizada (inicial, pre entrenamiento o post entrenamiento), las observaciones tanto del deportista sobre sus problemas visuales y otras cuestiones que estime oportuno y las del observador, la mano dominante, el ojo dominante, los estudios o profesión, un bloque de preguntas sobre el uso o no de gafas, de lentes de contacto, de gafas especiales para el tiro y la potencia de su lente.

En la siguiente sección de la ficha se anotó la medida de las pruebas optométricas para definir la refracción visual de cada deportista. Incluye la medida de la AV monocular y binocular sin compensación, la retinoscopia estática para calcular el error refractivo de cada ojo, la medida del reflejo foto motor monocular, punto próximo de convergencia, el cover test y la distancia naso pupilar. (ANEXO 1: *Ficha inicial de control visual*)

Con estos datos se comprobó el resultado de la retinoscopia estática, afinando el cilindro de la refracción y la esfera para lograr el máximo positivo para la máxima AV. Se midió la AV monocular y binocular y comenzamos con las pruebas binoculares (Foria de lejos, vergencias fusionales de lejos y forias y vergencias fusionales de cerca) para finalizar con las acomodativas (Flexibilidad acomodativa monocular y binocular, la amplitud de acomodación monocular con el método de acercamiento y el retraso acomodativo con el MEM).

Se complementó el examen optométrico con pruebas adicionales de contraste y color para descartar cualquier patología asociada a los resultados de estas pruebas.

Al final de la ficha se añade un apartado de necesidades, tras el análisis de los datos y la próxima visita. Un total de 80 variables.

Tras el examen optométrico de la ficha 1, se informaba, primero al entrenador, de las características de sus seleccionados, con la información detallada sobre los apartados analizados y con el informe correspondiente. Después el entrenador se ocupaba de informar a su pupilo de esta información.

El informe final con la información sobre el estado refractivo, visión binocular, acomodación y habilidades visuales estudiadas antes y después del entrenamiento sea cada tirador y a su entrenador tras el consentimiento de este para su consulta. Además, el informe se generaba automáticamente tan solo apuntando el código del deportista analizado ofreciendo frases de normalidad o para explicar el tipo de defecto refractivo. Permitía también el cálculo de la anomalía binocular y acomodativa con dos algoritmos complejos, gracias a los datos almacenados en la base de datos general (Anexo 2)

6.4.4. Diferencias visuales entre sedentarios y deportistas de tiro olímpico

Una vez realizadas las medidas, se hizo un estudio estadístico para valorar las diferencias tanto de las variables generales, como la edad, el género, la mano utilizada y visuales en las mismas condiciones para los grupos principales, sedentarios y todos los tiradores olímpicos.

Esta información nos permitiría valorar las posibles diferencias entre dos poblaciones seleccionadas previamente, pero estudiadas aleatoriamente. Sin embargo, el grupo de tiradores de carabina y pistola de aire comprimido de élite, era siempre una población pequeña para cualquier comparativa que fuera más relevante.

6.4.5. Variación del estado optométrico con el ejercicio del entrenamiento simulado de competición de los deportistas de tiro olímpico.

Una vez completada la primera ficha según el apartado 5.4.3. sobre el estado visual de todos y cada uno de los tiradores, se realizaba por segunda vez, la misma ficha, en las mismas condiciones, tras una sesión de entrenamiento de un tiempo de 60 minutos, con tiros en la galería, planificado por los dos entrenadores con los que hemos trabajado, tanto el entrenador nacional como el de la federación madrileña.

Con esta información se pretendía conocer las diferencias en cualquier variable visual, producida por el trabajo habitual en el entrenamiento de una sesión precompetitiva.

Para conseguir la aleatoriedad en la medida, se pidió inicialmente al deportista que pulsara, en un programa para móvil, generado por el autor, en la aplicación sketchware. Así se obtenía el número de la prueba con la que empezamos, numeradas previamente

Se han utilizado el paquete estadístico Statgraphics centurión XV y el programa SPSS 25 para el análisis de los datos. El nivel de significación fue menor de 0,05.

El análisis comenzó evaluando la normalidad estadística de las variables de las dos poblaciones medidas por medio de las pruebas de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk. Como la mayoría de las variables no presentaron distribuciones normales, se utilizó estadística no paramétrica para analizar y exponer los resultados obtenidos.

Se reflejan en los resultados valores de frecuencias, porcentajes, el número de participantes (N), la media, la desviación estándar (DT), el mínimo, el máximo y la mediana. Esta última fue elegida para representar la tendencia media de la muestra al tratarse de variables sin distribución normal

Posteriormente se procedió a realizar análisis de chi-cuadrado de Pearson, corrección de continuidad, razón de verosimilitud y la prueba exacta de Fisher además de la U de Mann-Whitney, W de Wilcoxon y prueba de rangos con signo de Wilcoxon para establecer las relaciones entre variables y establecer las diferencias significativas en las pruebas de refracción, acomodación, visión binocular y/o las habilidades visuales.

7. RESULTADOS

En este apartado se muestran los resultados obtenidos de las pruebas optométricas realizadas a los dos grupos de interés referente a sedentarios y tiradores de carabina y pistola de aire comprimido. Entre estas pruebas cabe destacar las medidas de la foria de lejos, la foria de cerca, la vergencia fusional negativa de lejos, la vergencia fusional positiva de lejos, la vergencia fusional negativa de cerca, la vergencia fusional positiva de cerca, el cálculo del AC/A, la flexibilidad acomodativa monocular, la flexibilidad acomodativa binocular, la amplitud acomodativa, el MEM, el tiempo de reacción visual dividido en tiempo visual y motor, la coordinación ojo-mano, la anticipación visual, la estereopsis o visión en relieve y la motilidad ocular.

Con la población sedentaria no se utilizaron pruebas de acomodación, vergencias fusionales, anticipación visual o estereopsis y con las pruebas en común realizadas a sedentarios y tiradores se compararon los resultados de los sedentarios, a modo de grupo control, con los tiradores olímpicos.

Los resultados se presentan en el mismo orden que se ha hecho en la metodología.

7.1. Resultados de la evaluación del estado visual de la población total.

La población total sedentaria y deportista fue de 125 personas (85 sedentarios y 40 tiradores).

La información de las variables independientes del grupo, género, mano dominante y ojo dominante se muestra en la Tabla 1 y Tabla 2.

Destacan un mayor número de diestros y ojos dominantes también derecho en esta población con diferencias significativas.

Para el análisis de estos resultados se reflejan en la Tabla 3, tanto el valor de las personas medidas para cada variable, identificado con N, la media, la desviación estándar (DT), mínimo y máximo además de la mediana.

Tabla 1. Estadísticos de las variables utilizadas de grupos

Reparto de grupos	Frecuencia	Porcentaje (%)
sedentarios	85	68,0
elite tiro olímpico	9	7,2
tiro olímpico autonomía Madrid	31	24,8

Tabla 2. Estadísticos de las variables utilizadas según género, mano dominante y ojo dominante

Variables comunes	Frecuencia	Porcentaje (%)
hombre	54	43,2
mujer	71	56,8
diestro	115	92,0
zurdo	10	8,0
ojo dominante derecho	93	74,4
ojo dominante izquierdo	32	25,6

Las variables utilizadas se nombraron como sigue:

La distancia naso pupilar derecha (DNPD), distancia naso pupilar izquierda (DNPI), esfera de refracción del ojo derecho inicial (ERXOD_INI), cilindro de refracción del ojo derecho inicial (CRXOD), esfera de refracción del ojo izquierdo inicial (ERXOI_INI), cilindro de refracción del ojo izquierdo inicial (CRXOI_INI), agudeza visual del ojo derecho inicial (AVOD_INI), agudeza visual del ojo izquierdo inicial (AVOI_INI), agudeza visual binocular inicial (AVB_INI), foria de lejos inicial (FL_INI), foria próxima inicial (FP_INI), tiempo de reacción visual binocular inicial (RVB_INI), tiempo de reacción motor inicial (RMB_INI) y coordinación ojo mano inicial (COOM_INI).

Se utilizan las medianas, además de la media y la desviación, porque se trata de población no normal o no paramétrica siendo, por tanto, menos representativa la media (Llinás Solano, 2018).

Se puede comprobar según la Tabla 3 que la población analizada es, en gran medida, emétrope con AV superior a 0,9 decimal, son exofóricos. Tenían un tiempo de reacción visual y motor similares entre sí, además de una coordinación ojo mano de 65 pulsaciones por minuto (ppm).

En los siguientes apartados ya se analizaron las poblaciones por separado para conocer los mismos estadísticos, pero en bloques diferenciados, por un lado, los participantes sedentarios y en el resto, los deportistas de tiro olímpico.

Tabla 3. Variables en función del número de personas medidas (N), media, desviación estándar con reflejo del mínimo, máximo y mediana en el conjunto sedentarios y tiradores

Prueba optométrica conjunta SEDENTARIOS Y TIRADORES	N	Media	DT	Mínimo	Máximo	Mediana
DNPD (mm)	125	30,21	2,35	25	37	30,00
DNPI (mm)	125	30,28	2,22	25	35	30,00
ERXOD_INI (D)	125	-1,13	2,13	-9,75	3,25	0,00
CRXOD_INI (D)	120	-0,06	0,30	-2,00	0,00	0,00
ERXOI_INI (D)	125	-1,19	2,16	-9,25	4,00	0,00
CRXOI_INI (D)	125	-0,22	0,54	-3,75	0,00	0,00
AVOD_INI	125	1,25	0,06	0,69	1,50	1,40
AVOI_INI	125	1,22	0,24	0,78	1,84	1,20
AVB_INI	125	1,26	0,27	0,80	2,00	1,20
FL_INI (Δ)	122	-0,56	3,71	-13	16	-1,00
FP_INI (Δ)	122	-1,53	4,62	-16	12	-1,00
RVB_INI (s)	123	0,280	0,090	0,100	0,590	0,260
RMB_INI (s)	123	0,280	0,110	0,130	0,666	0,240
COOM_INI (ppm)	123	64,79	8,24	28	82	65

7.2. Resultados de la evaluación del estado visual de una población sedentaria.

La población de estudiantes explorada fue de 109 voluntarios (36 hombres y 73 mujeres). Muchos de ellos se descartan por variadas cuestiones como se comenta posteriormente.

Las potencias de esfera y cilindro o AV mono y binocular no tienen diferencias significativas. En lejos el ojo director fue el ojo derecho en 82 voluntarios y en cerca, en 79 casos). Se descartaron los sujetos que presentaban o bien, problemas en la exploración básica anterior, con AV menor a 0,9, por imposibilidad de realizar correctamente las pruebas y la aparición de estrabismo, quedando 85 voluntarios sedentarios y de estos últimos se describen los datos.

El resto de variables se pueden ver en la Tabla 4.

Tabla 4. Variables en función del número de personas medidas (N), media, desviación estándar con reflejo del mínimo, máximo y mediana en sedentarios

Prueba optométrica SEDENTARIOS	N	media	DT	Mínimo	Máximo	Mediana
DNPD (mm)	85	29,69	1,77	25	34	30,00
DNPI (mm)	85	29,64	1,67	25	34	29,00
ERXOD_INI (D)	85	-1,26	2,25	-9,75	3,25	0,00
CRXOD_INI (D)	80	-0,04	0,25	-2,00	0,00	0,00
ERXOI_INI (D)	85	-1,34	2,34	-9,25	4,00	0,00
CRXOI_INI (D)	85	-0,27	0,62	-3,75	0,00	0,00
AVOD_INI	85	1,16	0,18	0,80	1,50	1,100
AVOI_INI	85	1,15	0,19	0,80	1,50	1,100
AVB_INI	85	1,15	0,19	0,80	1,50	1,100
FL_INI (Δ)	83	0,21	3,59	-10	16	0,00
FP_INI (Δ)	83	-1,12	4,27	-16	11	-0,50
RVB_INI (s)	85	0,290	0,120	0,100	0,590	0,264
RMB_INI (s)	85	0,230	0,060	0,140	0,580	0,222
COOM_INI (ppm)	85	64,85	7,60	46	82	65

7.3. Resultados de la evaluación del estado visual de una población deportista de tiradores de tiro olímpico.

La población de tiradores explorada fue de 40 voluntarios (21 hombres y 19 mujeres, con 37 diestros, para una media de edad de $30,99 \pm 16,83$ años, los ojos derechos son astigmatas en 4 casos, emétopes en 17 casos, 12 miopes y 7 hipermetropes y los ojos izquierdos son 13 miopes, 6 astigmatas, 16 emétopes y 5 hipermetropes. Las potencias de esfera y cilindro o AV mono y binocular no tienen diferencias significativas. En lejos el ojo director fue el ojo derecho).

Se utilizaron más datos que en sedentarios para poder valorar las diferencias entre el estado visual antes y después de un entrenamiento de una hora, anterior a la competición que implicaban acomodación, visión binocular y habilidades visuales.

Así, se añadieron, los puntos de la mejor marca histórica en competición de los tiradores (Marca), la función de sensibilidad al contraste variándola con la AV de 0.2 (SC02D), la función de sensibilidad al contraste variándola con la AV de 0.8 (SC08D), la función de sensibilidad al contraste modificándola con la máxima AV de cada deportista

(SCMD). Para el ojo izquierdo las variables equivalentes son SC02I, SC08I y SCMI y el punto próximo de convergencia (PPC) o primera vez que la persona ve doble una luz cuando se acerca por el plano medio de la cara hacia el tabique nasal.

Los datos también son muy parecidos a los de la población conjunta si bien destacan de la tabla los datos de AV, la exoforia o los datos de tiempo de reacción.

Tabla 5. Variables en función del número de personas medidas (N), media, desviación estándar con reflejo del mínimo, máximo y mediana en tiradores

Pruebas optométricas TIRADORES	N	Media	DT	Mínimo	Máximo	Mediana
DNPD (mm)	40	31,31	2,98	25	37	30,00
DNPI (mm)	40	31,64	2,60	27	35	30,75
ERXOD_INI (D)	40	-0,84	1,86	-6,00	2,50	0,00
CRXOD_INI (D)	40	-0,12	0,39	-2,00	0,00	0,00
ERXOI_INI (D)	40	-0,87	1,71	-5,50	0,75	0,00
CRXOI_INI (D)	40	-0,11	0,28	-1,25	0,00	0,00
AVOD_INI	40	1,35	0,28	0,69	1,84	1,40
AVOI_INI	40	1,35	0,27	0,78	1,84	1,40
AVB_INI	40	1,49	0,26	0,90	2,00	1,56
FL_INI (Δ)	39	-2,19	3,46	-13	5	-2,00
FP_INI (Δ)	39	-2,41	5,22	-10	12	-3,00
RVB_INI (s)	38	0,270	0,070	0,160	0,420	0,260
RMB_INI (s)	38	0,380	0,140	0,130	0,666	0,370
COOM_INI (ppm)	38	64,66	9,62	28	81	65
MARCA (puntos)	36	578,18	30,19	466,50	623,60	581,50
SC02D (%)	38	2,50	3,02	0	10	0,00
SC08D (%)	38	11,97	7,67	5	30	10,00
SCMD (%)	37	29,05	19,75	5	80	20,00
SC02I (%)	37	2,16	2,77	0	10	0,00
SC08I (%)	38	12,76	8,11	0	40	10,00
SCMI (%)	37	26,08	18,56	5	80	20,00
PPC (cm)	39	7,31	3,93	0	20	7,00

7.4. Diferencias visuales entre sedentarios y deportistas de tiro olímpico

Se ha separado el grupo completo en dos, correspondientes a sedentarios y los deportistas de tiro olímpico.

La distribución en porcentajes respecto del género se puede ver en la Tabla 6. Con las tablas cruzadas no se observaron diferencias en el reparto de género para

sedentarios y deportistas, utilizando la prueba exacta de Fisher del estadístico chi-cuadrada ($P=0,177$).

Tabla 6. Separación de ambas poblaciones según género

		hombre	mujer	Total
sedentarios	N	33	52	85
	%	38,8%	61,2%	100,0%
deportista	N	21	19	40
	%	52,5%	47,5%	100,0%
Total	N	54	71	125
	%	43,2%	56,8%	100,0%

Destaca la mayor similitud entre géneros en deportistas frente a una población aleatoria sedentaria. Sin embargo, esa diferencia no es significativa como se observa en la Tabla 7 al aplicar chi-cuadrada.

Tabla 7. Relación chi cuadrada para el género relacionando ambas poblaciones. Significación en $P<0.05$

	Valor	Df	Significación asintótica (bilateral)	Significación exacta (bilateral)	Significación exacta (unilateral)
Chi-cuadrado de Pearson	2,073	1	0,150		
Corrección de continuidad	1,553	1	0,213		
Razón de verosimilitud	2,064	1	0,151		
Prueba exacta de Fisher				0,177	0,106
N de casos válidos	125				

En la Tabla 8 se puede observar la distribución en porcentajes, de la mano dominante.

Con las tablas cruzadas (Tabla 9) no se observaron diferencias en el reparto de mano dominante para sedentarios y deportistas, utilizando la prueba exacta de Fisher del estadístico chi-cuadrada ($P=1,000$).

Tabla 8. Reparto en los dos grupos de la mano dominante

		Derecho	Izquierdo	Total
sedentarios	N	78	7	85
	%	91,8%	8,2%	100,0%
deportistas	N	37	3	40
	%	92,5%	7,5%	100,0%
Total	N	54	115	10
	%	43,2%	92,0%	8,0%

Tabla 9. Relación chi cuadrada para ambas poblaciones según la mano dominante

	Valor	Df	Significación asintótica (bilateral)	Significación exacta (bilateral)	Significación exacta (unilateral)

Chi-cuadrado de Pearson	0,020	1	0,888		
Corrección de continuidad	0,000	1	1,000		
Razón de verosimilitud	0,020	1	0,887		
Prueba exacta de Fisher				1,000	0,597
N de casos válidos	125				

Significación en $P < 0,05$

La distribución en porcentajes para el ojo dominante se puede ver en la Tabla 10. Con las tablas cruzadas (Tabla 11) se observaron diferencias significativas en el reparto del ojo dominante para sedentarios y deportistas, utilizando la prueba exacta de Fisher del estadístico chi-cuadrada ($P=0,002$).

Tabla 10. Reparto en los dos grupos respecto del ojo dominante

		Ojo derecho	Ojo izquierdo	Total
sedentarios	N	56	29	85
	%	65,9%	34,1%	100,0%
deportista	N	37	3	40
	%	92,5%	7,5%	100,0%
Total	N	93	32	125
	%	74,4%	25,6%	100,0%

Tabla 11. Relación chi cuadrada para el ojo dominante relacionando ambas poblaciones

	Valor	Df	Significación asintótica (bilateral)	Significación exacta (bilateral)	Significación exacta (unilateral)
Chi-cuadrado de Pearson	10,118	1	0,001		
Corrección de continuidad	8,769	1	0,003		
Razón de verosimilitud	11,789	1	0,001		
Prueba exacta de Fisher				0,002	0,001
N de casos válidos	125				

Significación en $P < 0,05$

Se analizó la normalidad utilizando los estadísticos Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk, de los dos grupos, por separado (Tabla 12) y se observó que no hay normalidad en ninguna variable. Tras esta falta de normalidad de los grupos se compararon entonces con estadísticos no paramétricos (Prueba de Mann-Whitney) (Tabla 13) para ver las diferencias de variables entre sedentarios y deportistas (incluyendo tiradores de élite y tiradores de la federación madrileña de tiro olímpico). Se encontraron diferencias significativas entre varias variables: DNP OD, DNP OI, AV monocular y binocular, FL, FP y tiempo motor binocular (Tabla 13).

Como se comenta al inicio de este punto ninguna de las variables analizadas sigue una distribución normal, por tanto, debe analizarse con estadísticos no paramétricos.

En la tabla siguiente (Tabla 12), se analizan las diferencias con la prueba de Mann-Whitney.

Tabla 12. Prueba de Normalidad de los grupos de sedentarios y deportistas

Normalidad		Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
DNPD (mm)	sedentarios	0,184	85	0,000	0,942	85	0,001
	deportista	0,195	40	0,001	0,938	40	0,029
DNPI (mm)	sedentarios	0,189	85	0,000	0,948	85	0,002
	deportista	0,210	40	0,000	0,869	40	0,000
ERXOD (D)	sedentarios	0,254	85	0,000	0,813	85	0,000
	deportista	0,299	40	0,000	0,807	40	0,000
CRXOD (D)	sedentarios	0,535	80	0,000	0,139	80	0,000
	deportista	0,519	40	0,000	0,345	40	0,000
ERXOI (D)	sedentarios	0,223	85	0,000	0,828	85	0,000
	deportista	0,319	40	0,000	0,704	40	0,000
CRXOI (D)	sedentarios	0,376	85	0,000	0,510	85	0,000
	deportista	0,500	40	0,000	0,445	40	0,000
AVOD	sedentarios	0,225	85	0,000	0,824	85	0,000
	deportista	0,476	40	0,000	0,526	40	0,000
AVOI	sedentarios	0,211	85	0,000	0,848	85	0,000
	deportista	0,131	40	0,083	0,964	40	0,222
AVB	sedentarios	0,211	85	0,000	0,848	85	0,000
	deportista	0,165	40	0,008	0,966	40	0,260
FL (Δ)	sedentarios	0,198	83	0,000	0,874	83	0,000
	deportista	0,151	39	0,024	0,949	39	0,077
FP (Δ)	sedentarios	0,192	83	0,000	0,913	83	0,000
	deportista	0,117	39	0,195	0,937	39	0,031
RVB (s)	sedentarios	0,123	85	0,003	0,950	85	0,002
	deportista	0,120	38	0,185	0,952	38	0,102
RMB (s)	sedentarios	0,123	85	0,003	0,792	85	0,000
	deportista	0,091	38	0,200	0,973	38	0,493
COOM (ppm)	sedentarios	0,098	85	0,042	0,979	85	0,176
	deportista	0,113	38	0,200	0,903	38	0,003

gl. Grados de libertad. Sig. Significativo

Tabla 13. Prueba de Mann-Whitney para comprobar variables con diferencias significativas entre grupos

		N	Rango promedio	Suma de rangos	U de Mann-Whitney	W de Wilcoxon	Z	Sig. asintótica
DNPD (mm)	sedentarios	85	55,95	4756,00	1101,0	4756,0	-3,223	0,001
	deportista	40	77,98	3119,00				
DNPI (mm)	sedentarios	85	54,32	4617,00	962,0	4617,0	-3,968	0,000
	deportista	40	81,45	3258,00				
ERXOD (D)	sedentarios	85	60,55	5146,50	1491,5	5146,5	-1,154	0,248
	deportista	40	68,21	2728,50				
CRXOD (D)	sedentarios	80	61,98	4958,50	1481,5	2301,5	-1,747	0,081
	deportista	40	57,54	2301,50				
ERXOI (D)	sedentarios	85	60,06	5105,50	1450,5	5105,5	-1,385	0,166
	deportista	40	69,24	2769,50				
CRXOI (D)	sedentarios	85	60,14	5111,50	1456,5	5111,5	-1,701	0,089
	deportista	40	69,09	2763,50				
AVOD	sedentarios	85	53,66	4561,50	906,500	4561,500	-3,922	0,000
	deportista	38	80,64	3064,50				
AVOI	sedentarios	85	54,13	4601,00	946,0	4601,0	-4,036	0,000
	deportista	40	81,85	3274,00				
AVB	sedentarios	85	49,39	4198,00	543,0	4198,0	-6,187	0,000
	deportista	40	91,93	3677,00				
FL (Δ)	sedentarios	83	69,87	5799,00	924,0	1704,0	-3,837	0,000
	deportista	39	43,69	1704,00				
FP (Δ)	sedentarios	83	66,20	5494,50	1228,5	2008,5	-2,159	0,031
	deportista	39	51,50	2008,50				
RVB (s)	sedentarios	85	63,39	5388,50	1496,5	2237,5	-0,649	0,516
	deportista	38	58,88	2237,50				
RMB (s)	sedentarios	85	48,72	4141,00	486,0	4141,0	-6,183	0,000
	deportista	38	91,71	3485,00				
COOM (ppm)	sedentarios	85	61,65	5240,00	1585,0	5240,0	-0,164	0,869
	deportista	38	62,79	2386,00				

Han sido significativas las diferencias según los estadísticos no paramétricos de U de Mann-Whitney y W. de Wilcoxon, entre las distancias naso pupilares ($P=0,001$ y $P=0,000$, respectivamente), la AV monocular y binocular ($P=0,000$ en los 3 casos), la foria de lejos ($P=0,000$) y de cerca ($P=0,031$) y tiempo motor ($P=0,000$). Se muestran también esas variables en las figuras (Figura 37 a Figura 40) para su visualización.

Los resultados de la distancia naso pupilar son estadísticamente menores en los sedentarios (Figura 37 y Figura 38). En medianas es igual en el ojo derecho (30) pero no en el ojo izquierdo (29 en sedentarios y 30,75 en tiradores).

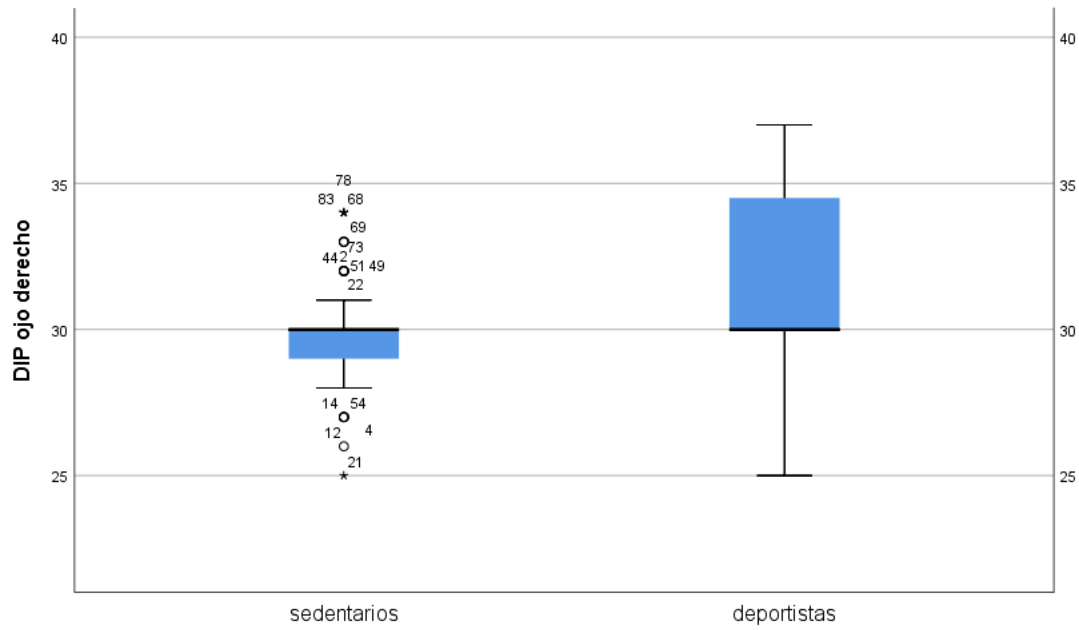


Figura 37. Diferencia en la Distancia naso pupilar derecha

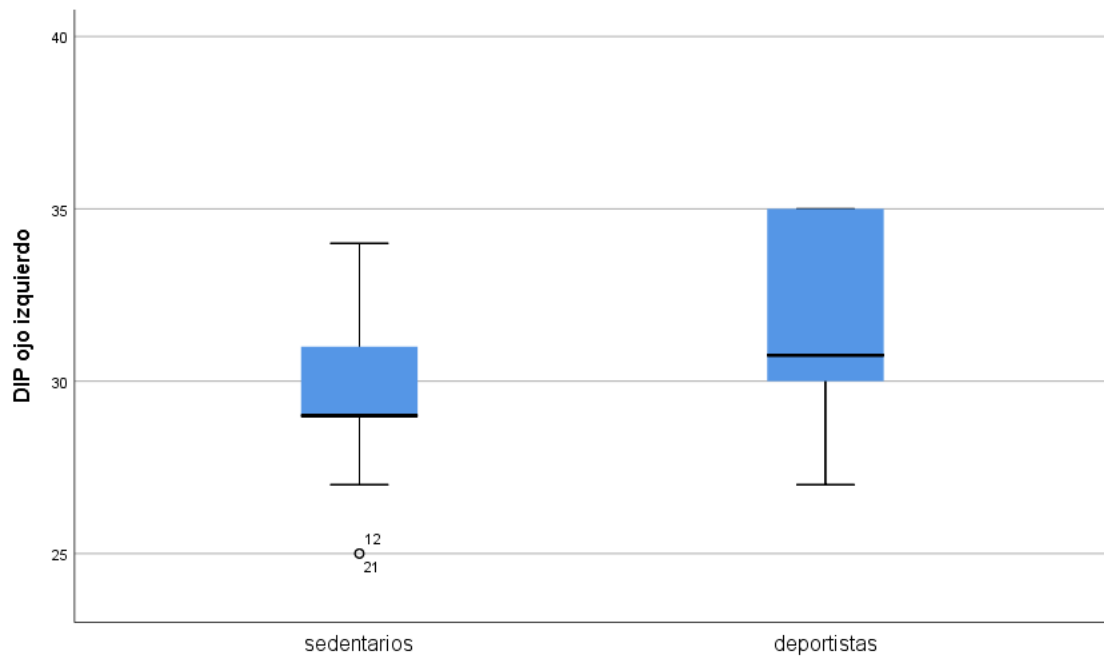


Figura 38. Diferencia en la Distancia naso pupilar izquierda

En la Figura 41 se observa que la AV binocular es mejor en tiradores en una cantidad de 0,46. Asimismo, se observa en las Figura 39 y Figura 40 que sucede lo mismo con las AV monoculares para una cantidad de 0,30 La AV es menor en sedentarios (Figura 39 a Figura 41).

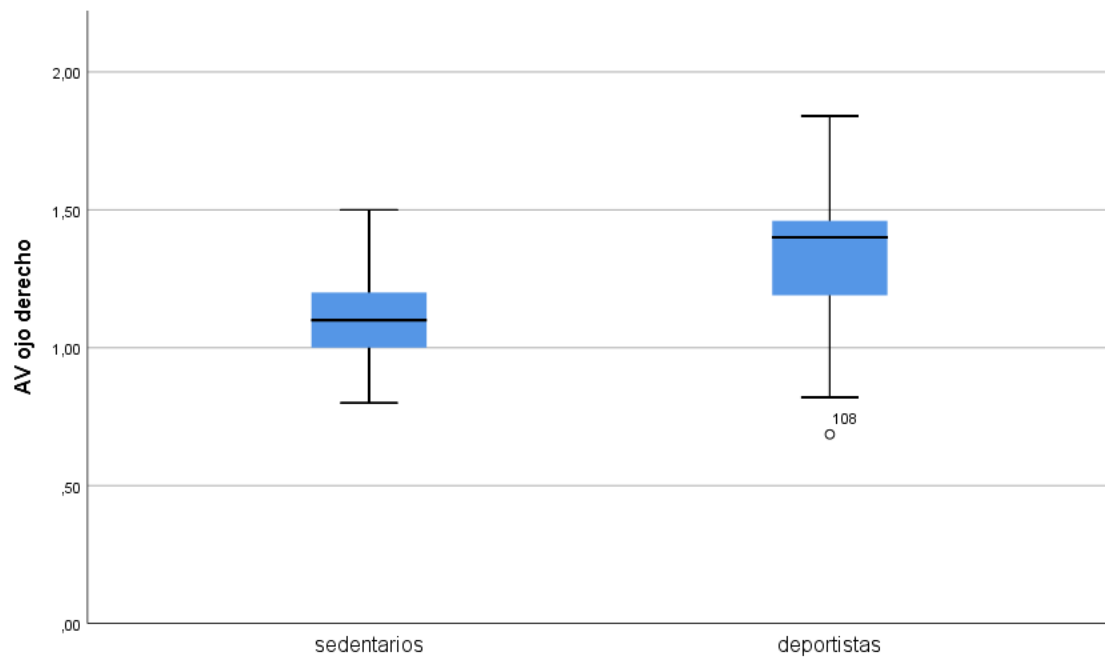


Figura 39. Diferencia en la AV del OD

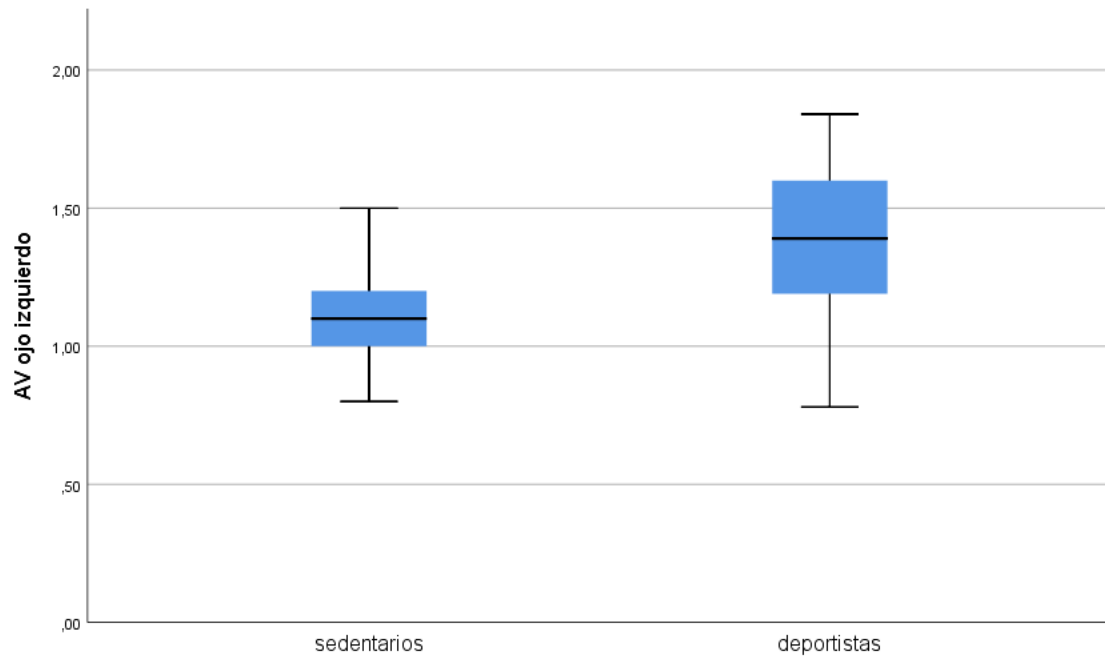


Figura 40. Diferencia en AV del OI

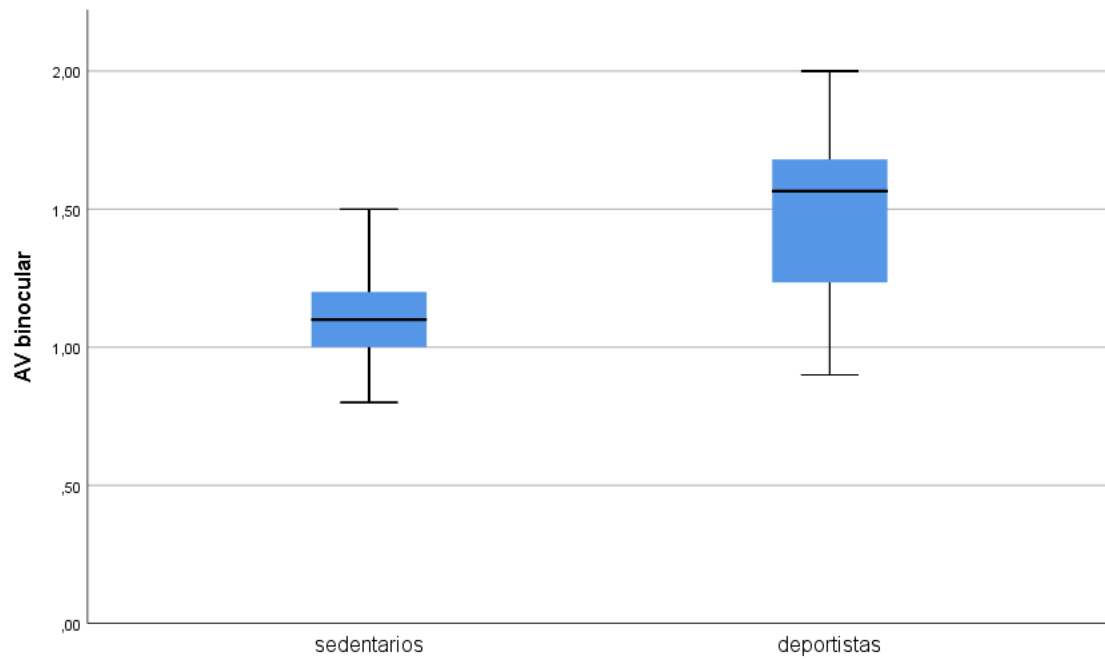


Figura 41. Diferencia en AV binocular

Los resultados de la foria de lejos y de cerca muestran la tendencia hacia la endoforia de los sedentarios (Figura 42 y Figura 43).

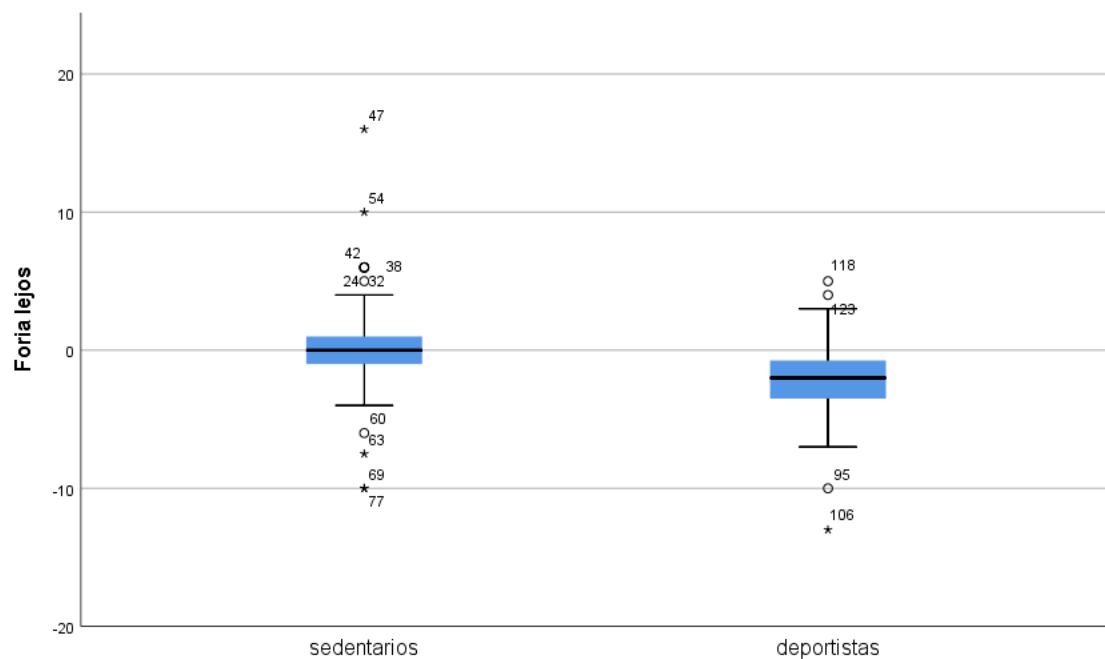


Figura 42. Diferencia en Foria de lejos

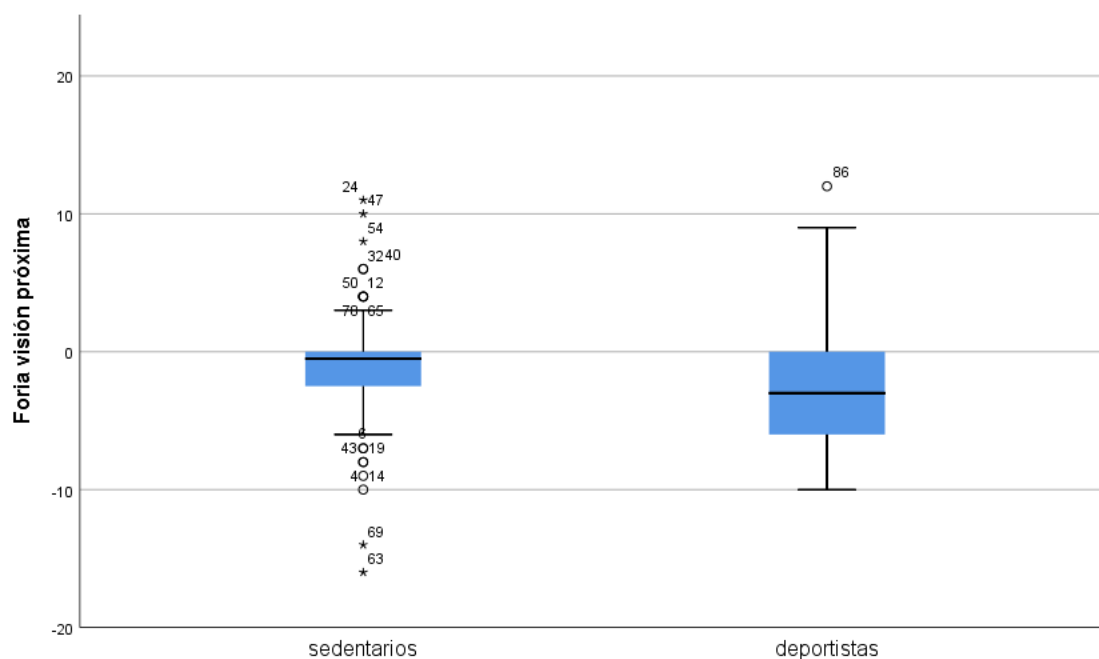


Figura 43. Diferencia en Foria de cerca

La diferencia entre el tiempo motor al inicio del examen optométrico entre sedentarios y tiradores es a favor de los sedentarios que lograron un tiempo más bajo en 0,148 s (Figura 44)

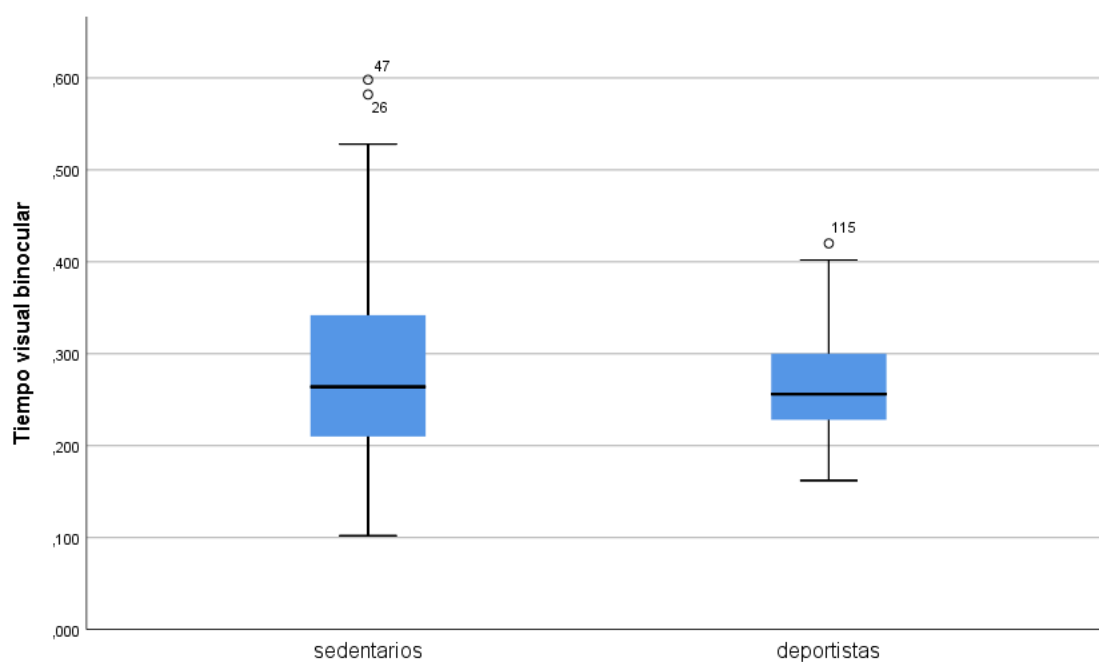


Figura 44. Diferencia en tiempo motor

7.5. Variación del estado optométrico en tiradores con el ejercicio del entrenamiento rutinario.

Para la evaluación de los datos optométricos, incluyendo las variables descritas en la metodología, utilizamos los resultados antes del entrenamiento para compararlos con los obtenidos tras el entrenamiento de 1 hora.

Las pruebas añadidas para esta parte del análisis son los valores de la medida de la estereopsis a 3 m (STEREO), rotura de las vergencias fusionales negativas de lejos (RTVFNL), recobro de las vergencias fusionales negativas de lejos (RBVFNL), rotura de vergencias fusionales positivas de lejos (RTVFPL), recobro de vergencias fusionales positivas de lejos (RBVFPL), terminado en P son las pruebas equivalentes en visión próxima (RTVFNP, RBVFNP, RTVFPP, RBVFPP), la flexibilidad acomodativa del ojo derecho, izquierdo y binocular (FAOD, FAOI y FAB), la amplitud de acomodación del ojo derecho e izquierdo respectivamente (AAOD y AAOI), método estimativo monocular a 40 cm (estándar) o a la distancia correspondiente al túnel o mira del arma (MEMOD40, MEMODX, MEMOI40 y MEMOIX), tiempo de lectura vertical con el programa ogama (TV), tiempo de lectura horizontal (TH), cociente entre los dos tiempos (TH/TV) (THTV), tiempo de reacción visual medido binocularmente (TRVB), tiempo de reacción motor medido binocularmente (TRMB), coordinación ojo-mano (COOM) y anticipación visual (ANT).

Al analizar estadísticamente los datos obtenidos en las pruebas optométricas antes y después del entrenamiento encontramos los valores reflejados en la Tabla 14, antes del entrenamiento y en la Tabla 15, después del entrenamiento.

En la Tabla 15 se reúnen los valores después del entrenamiento de 1 hora de las mismas pruebas, para que nos sirvan de indicador para conocer cómo afecta o no visualmente la fatiga visual de un ejercicio tan severo como permanecer estable o inmóvil en el momento del tiro.

Tabla 14. Valores antes del entrenamiento en tiradores olímpicos

Antes del entrenamiento	N	Media	DT	Mínimo	Máximo	Mediana
ERXOD (D)	40	-0,84	1,86	-6,00	2,50	0,00
CRXOD (D)	40	-0,12	,39	-2,00	0,00	0,00
ERXOI (D)	40	-0,87	1,71	-5,50	0,75	0,00
CRXOI (D)	40	-0,11	0,28	-1,25	0,00	0,00
AV OD	40	1,28	0,28	0,69	1,84	1,30
AV OI	40	1,35	0,33	0,36	1,84	1,35
AVB	40	1,49	0,26	0,90	2,00	1,56
STEREO (cm)	38	0,61	43,88	-173	60	7,50
FL (Δ)	39	-2,19	3,46	-13	5	-2,00
RTVFNL (Δ)	38	15,45	27,38	3	178	12,00
RBVFNL (Δ)	38	-5,26	3,94	-12	12	6,00
RTVFPL (Δ)	37	23,57	8,66	6	41	24,00
RBVFPL (Δ)	37	11,19	6,93	0	28	10,00
FP (Δ)	39	-2,41	5,22	-10	12	-3,00
RTVFNP (Δ)	39	15,90	4,98	8	28	15,00
RBVFNP (Δ)	39	8,97	5,41	-4	18	8,00
RTVFPP (Δ)	37	28,41	8,92	12	41	28,00
RBVFPP (Δ)	37	18,30	8,62	2	36	17,00
FAOD (cpm)	40	5,33	5,72	0	24	4,00
FAOI (cpm)	40	6,25	6,11	0	24	6,00
FAB (cpm)	40	5,30	4,76	0	18	5,50
AAOD (D)	39	8,71	6,32	0,03	33,33	10,00
AAOI (D)	39	8,86	5,77	0,03	25,00	10,00
MEMOD40 (D)	40	1,25	0,78	0,00	3,00	1,00
MEMODX (D)	36	0,42	0,59	-1,00	1,50	0,50
MEMOI40 (D)	39	1,20	0,75	-0,50	3,00	1,00
MEMOIX (D)	34	0,54	0,49	-0,75	1,50	0,50
TV (s)	36	55,45	10,04	34	79	55,00
TH (s)	36	54,44	10,38	33	77	55,00
THTV	36	1,01	0,12	0,80	1,30	0,98
TRVB (s)	38	0,269	0,067	0,162	0,420	0,256
TRMB (s)	38	0,382	0,138	0,132	0,666	0,369
COOM (ppm)	38	64,66	9,62	28	81	65
ANT (s)	36	60,75	46,17	3	215	50

Tabla 15. Variables después del entrenamiento en tiradores olímpicos

Después del entrenamiento	N	Media	DT	Mínimo	Máximo	Mediana
ERXOD POST (D)	38	-0,85	1,76	-6,00	1,75	0,00
CRXOD POST (D)	38	-0,06	0,21	-1,00	0,00	0,00
ERXOI POST (D)	38	-0,76	1,88	-5,50	2,75	0,00
CRXOI POST (D)	38	-0,07	0,24	-1,25	0,00	0,00
AVOD POST	38	1,35	0,28	0,69	1,84	1,40
AVOI POST	38	1,39	0,28	0,76	1,84	1,46
AVB POST	37	1,55	0,27	0,90	1,92	1,53
STEREO POST (cm)	38	19,87	50,30	-85	187	11,50
FL POST (Δ)	34	-2,31	3,44	-10,0	4,0	-1,00
RTVFNL POST (Δ)	36	11,58	5,92	0	24	12,00
RBVFNL POST (Δ)	36	5,03	3,08	0	12	5,50
RTVFPL POST (Δ)	34	25,94	11,26	4	41	27,00
RBVFPL POST (Δ)	35	11,66	8,40	2	35	9,00
FP POST (Δ)	36	-3,61	6,13	-19,0	16,0	-3,50
RTVFNP POS (Δ)T	36	14,72	5,36	5	30	14,00
RBVFNP POST (Δ)	36	9,00	5,17	-4	20	9,50
RTVFPP POST (Δ)	34	25,97	9,70	4	41	24,00
RBVFPP POST (Δ)	35	16,20	9,22	-3	38	17,00
FAOD POST (cpm)	38	8,68	8,24	0	28	7,00
FAOI POST (cpm)	38	8,82	8,32	0	28	8,00
FAB POST (cpm)	37	6,95	6,85	0	24	6,00
AAOD POST (D)	38	8,47	5,68	0,02	22,22	9,09
AAOI POST (D)	38	8,49	5,45	0,02	18,18	9,76
MEMOD40 POST (D)	38	1,33	0,69	0,00	3,00	1,25
MEMODX POST (D)	31	0,58	0,65	-1,00	2,00	0,50
MEMOI40 POST (D)	38	1,34	0,71	0,25	3,00	1,25
MEMOIX POST (D)	31	0,54	0,65	-1,00	2,00	0,50
TV POST (s)	30	53,80	9,37	35	76	53,50
TH POST (s)	30	53,03	9,78	33	73	53,00
THTVPOST (s)	31	1,02	0,08	0,89	1,15	1,02
TRVB POST (s)	38	0,256	0,088	0,144	0,680	0,230
TRMB POST (s)	38	0,374	0,158	0,114	0,750	0,330
COOM POST (ppm)	38	69,97	11,99	33	88	71,50
ANT POST (s)	35	83,09	90,24	9	512	54,00

En la Tabla 16 se muestra la diferencia a favor y en contra de los resultados obtenidos anteriormente y posteriormente al entrenamiento. Para saber si existe diferencia utilizamos la Tabla 17 recurriendo el estadístico de Wilcoxon donde

encontramos diferencias significativas en varias pruebas. Las diferencias significativas antes y después del entrenamiento se produjeron en la agudeza visual del ojo derecho, pero no en el ojo izquierdo, en el punto de rotura de la vergencia fusional negativa de cerca reduciéndose de 15Δ a 14Δ ($z = -2,085$; $P < 0,05$). Se ha producido en la flexibilidad acomodativa monocular y binocular donde aumenta en los 3 casos respectivamente ($z = -3$; $P < 0,05$) y en la coordinación ojo-mano aumentando de 65 a 71,5 ppm ($z = -3,948$; $P < 0,005$). (Tabla 17)

Tabla 16. Diferencias entre variables tras entrenamiento de tiradores

Diferencias	N	Media	DT	Mínimo	Máximo	Mediana
ERXOD_DIF (D)	38	0,03	0,94	-2,50	4,00	0,00
CRXOD_DIF (D)	38	0,07	0,41	-0,75	2,00	0,00
ERXOI_DIF (D)	38	0,14	1,04	-1,50	5,50	0,00
CRXOI_DIF (D)	38	0,04	0,37	-1,25	1,25	0,00
AVOD_DIF	38	0,07	0,23	-0,60	0,65	0,10
AVOI_DIF	38	0,03	0,24	-0,70	0,39	0,11
AVB_DIF	37	0,04	0,24	-0,70	0,60	-0,03
STEREO_DIF (cm)	38	19,26	75,86	-107,00	290,00	4,00
FL_DIF (Δ)	34	-0,04	4,46	-9,00	15,00	1,00
RTVFNL_DIF (Δ)	36	0,28	5,40	-12,00	10,00	0,00
RBVFNL_DIF (Δ)	36	-0,28	4,98	-12,00	16,00	-0,50
RTVFPL_DIF (Δ)	33	2,42	9,60	-23,00	20,00	3,00
RBVFPL_DIF (Δ)	34	0,53	8,63	-18,00	27,00	-1,00
FP_DIF (Δ)	36	-1,11	5,05	-14,00	8,00	-0,50
RTVFNP_DIF (Δ)	36	-1,39	3,80	-7,00	8,00	-1,00
RBVFNP_DIF (Δ)	36	-0,03	5,16	-8,00	14,00	1,50
RTVFPP_DIF (Δ)	33	-2,21	9,82	-20,00	16,00	4,00
RBVFPP_DIF (Δ)	34	-2,38	9,66	-24,00	14,00	0,00
FAOD_DIF (cpm)	38	3,50	5,17	-4,00	16,00	3,00
FAOI_DIF (cpm)	38	2,45	4,37	-7,00	12,00	2,00
FAB_DIF (cpm)	37	1,89	3,31	-4,00	12,00	0,50
AAOD_DIF (D)	38	-0,14	2,29	-11,11	4,85	-0,91
AAOI_DIF (D)	38	-0,27	2,29	-10,71	4,17	-0,24
MEM40D_DIF (D)	38	0,05	0,58	-1,00	2,00	0,25
XMEMD_DIF (cm)	30	-2,57	15,04	-82,00	4,00	0,00
MEMXD_DIF (D)	31	0,10	0,66	-0,50	3,00	0,00
MEM40I_DIF (D)	37	0,10	0,57	-0,75	1,75	0,25
MEMXI_DIF (D)	31	-0,06	0,69	-1,50	1,50	0,00
TV_DIF (s)	30	-2,90	8,00	-26,00	10,00	-1,50
TH_DIF (s)	30	-1,43	6,49	-14,00	17,00	-2,00
THTV_DIF (s)	31	-0,01	0,11	-0,26	0,26	0,04
TRVB_DIF (s)	38	-0,014	0,099	-0,19	0,39	-0,026
TRMB_DIF (s)	38	-0,007	0,172	-0,32	0,51	-0,039
COOM_DIF (ppm)	38	5,32	7,31	-22,00	16,00	6,50
ANT_DIF (s)	35	24,11	75,12	-98,00	297,00	4,00

Tabla 17. Prueba de rangos con signo de Wilcoxon

		N	Rango promedio	Suma de rangos	Z	Sig. Asintótica (bilateral)
ERXOD POST – ERXOD INI	Rangos negativos	8	6,88	55,00	-0,157	0,875
	Rangos positivos	6	8,33	50,00		
	Empates	24				
	Total	38				
CRXOD POST – CRXOD INI	Rangos negativos	2	1,75	3,50	-1,084	0,279
	Rangos positivos	3	3,83	11,50		
	Empates	33				
	Total	38				
ERXOD POST – ERXOD INI	Rangos negativos	5	5,60	28,00	-0,446	0,656
	Rangos positivos	6	6,33	38,00		
	Empates	27				
	Total	38				
CRXOI POST – CRXOI INI	Rangos negativos	3	4,17	12,50	-0,782	0,434
	Rangos positivos	5	4,70	23,50		
	Empates	30				
	Total	38				
AVOD POST – AVOD INI	Rangos negativos	0	0,00	0,00	-5,380	0,000*
	Rangos positivos	38	19,50	741,00		
	Empates	0				
	Total	38				
AVOI POST – AVOI INI	Rangos negativos	9	17,78	160,00	-1,725	0,084
	Rangos positivos	22	15,27	336,00		
	Empates	7				
	Total	38				
AVB POST – AVB INI	Rangos negativos	12	13,75	165,00	-1,390	0,164
	Rangos positivos	18	16,67	300,00		
	Empates	7				
	Total	37				
STEREO POST – STEREO INI (cm)	Rangos negativos	17	18,21	309,50	-0,634	0,526
	Rangos positivos	20	19,68	393,50		
	Empates	1				
	Total	38				

Tabla 17. Continuación		N	Rango promedio	Suma de rangos	Z	Sig. Asintótica (bilateral)
FL POST - Foria lejos	Rangos negativos	15	14,07	211,00	-0,183	0,855
	Rangos positivos	13	15,00	195,00		
	Empates	6				
	Total	34				
RTVFNL POST – RTVFNL INI	Rangos negativos	15	18,13	272,00	-0,437	0,662
	Rangos positivos	19	17,00	323,00		
	Empates	2				
	Total	36				
RBVFNL POST – RBVFNL INI	Rangos negativos	17	16,79	285,50	-0,403	0,687
	Rangos positivos	15	16,17	242,50		
	Empates	4				
	Total	36				
RTVFPL POST – RTVFPL INI	Rangos negativos	11	15,50	170,50	-1,520	0,128
	Rangos positivos	20	16,28	325,50		
	Empates	2				
	Total	33				
RBVFPL POST – RBVFPL INI	Rangos negativos	15	14,20	213,00	-0,097	0,922
	Rangos positivos	14	15,86	222,00		
	Empates	5				
	Total	34				
FP POST – FP INI	Rangos negativos	22	15,20	334,50	-1,322	0,186
	Rangos positivos	10	19,35	193,50		
	Empates	4				
	Total	36				
RTVFNP POST – RTVFNP INI	Rangos negativos	22	15,16	333,50	-2,085	0,037*
	Rangos positivos	8	16,44	131,50		
	Empates	6				
	Total	36				
RBVFNP POST – RBVFNP INI	Rangos negativos	18	17,72	319,00	-0,369	0,712
	Rangos positivos	16	17,25	276,00		
	Empates	2				
	Total	36				
RTVFPP POST – RTVFPP INI	Rangos negativos	17	18,53	315,00	-1,314	0,189
	Rangos positivos	14	12,93	181,00		
	Empates	2				
	Total	33				

Tabla 17. Continuación		N	Rango promedio	Suma de rangos	Z	Sig. Asintótica (bilateral)
RBVFPP POST – RBVFPP INI	Rangos negativos	18	18,53	333,50	-1,301	0,193
	Rangos positivos	14	13,89	194,50		
	Empates	2				
	Total	34				
FAOD POST – FAOD INI	Rangos negativos	2	4,75	9,50	-3,690	0,000*
	Rangos positivos	19	11,66	221,50		
	Empates	17				
	Total	38				
FAOI POST – FAOI INI	Rangos negativos	7	7,21	50,50	-3,019	0,003*
	Rangos positivos	18	15,25	274,50		
	Empates	13				
	Total	38				
FAB POST – FAB INI	Rangos negativos	4	10,88	43,50	-3,068	0,002*
	Rangos positivos	20	12,83	256,50		
	Empates	13				
	Total	37				
AAOD POST – AAOD INI	Rangos negativos	18	19,86	357,50	-0,091	0,928
	Rangos positivos	19	18,18	345,50		
	Empates	1				
	Total	38				
AAOI POST – AAOI INI	Rangos negativos	20	16,20	324,00	-0,453	0,651
	Rangos positivos	14	19,36	271,00		
	Empates	4				
	Total	38				
MEM40D POST – MEM40D INI	Rangos negativos	13	13,58	176,50	-0,304	0,761
	Rangos positivos	14	14,39	201,50		
	Empates	11				
	Total	38				
MEMXD POST – MEMXD INI	Rangos negativos	12	9,17	110,00	-0,548	0,584
	Rangos positivos	10	14,30	143,00		
	Empates	9				
	Total	31				

Tabla 17. Continuación		N	Rango promedio	Suma de rangos	Z	Sig. Asintótica (bilateral)
MEM40I POST – MEM40I INI	Rangos negativos	14	11,89	166,50	-0,842	0,400
	Rangos positivos	14	17,11	239,50		
	Empates	9				
	Total	37				
MEMXI POST – MEMXI INI	Rangos negativos	13	12,08	157,00	-0,583	0,560
	Rangos positivos	10	11,90	119,00		
	Empates	8				
	Total	31				
TV POST – TV INI	Rangos negativos	17	15,21	258,50	-1,672	0,095
	Rangos positivos	10	11,95	119,50		
	Empates	3				
	Total	30				
TH POST – TH INI	Rangos negativos	18	14,25	256,50	-1,626	0,104
	Rangos positivos	9	13,50	121,50		
	Empates	3				
	Total	30				
THTV POST – THTV INI	Rangos negativos	15	15,57	233,50	-0,346	0,729
	Rangos positivos	14	14,39	201,50		
	Empates	2				
	Total	31				
RVB POST – RVB INI	Rangos negativos	23	20,09	462,00	-1,328	0,184
	Rangos positivos	15	18,60	279,00		
	Empates	0				
	Total	38				
RMB POST – RMB INI	Rangos negativos	21	18,33	385,00	-0,505	0,613
	Rangos positivos	16	19,88	318,00		
	Empates	1				
	Total	38				
COOM POST – COOM INI	Rangos negativos	7	11,71	82,00	-3,948	0,000*
	Rangos positivos	29	20,14	584,00		
	Empates	2				
	Total	38				
ANT POST – ANT INI	Rangos negativos	15	14,13	212,00	-1,687	0,092
	Rangos positivos	20	20,90	418,00		
	Empates	0				
	Total	35				

* Diferencias significativas

Para comprobar las diferencias entre las variables medidas antes y después del entrenamiento de los tiradores, se ha tomado en consideración 3 variables dependientes como son el género, la mejor marca en competición y la edad en tres bloques.

En primer lugar, vemos las diferencias más significativas en función del género. La Tabla 18 recoge estos datos. Se han destacado con un asterisco los valores que tiene diferencia significativa para su mayor comodidad en la visualización de los datos. Se hace referencia en esta tabla al género coincidiendo en un número muy similar de la población (N=18-20), con el uso de rango promedio, suma de rangos para los estadísticos de U de Mann-Whitney, W de Wilcoxon y Z.

Tabla 18. Prueba de Mann-Whitney

Rangos					Estadísticos de prueba				
Genero		N	Rango promedio	Suma de rangos	U de Mann-Whitney	W de Wilcoxon	Z	Sig. Asintótica (bilateral)	Significación exacta [2*(sig. unilateral)]
ERXOD_DIF	hombre	20	18,75	375,00	165,000	375,000	-0,507	0,612	0,675
	mujer	18	20,33	366,00					
CRXOD_DIF	hombre	20	20,00	400,00	170,000	341,000	-0,498	0,619	0,784
	mujer	18	18,94	341,00					
ERXOI_DIF	hombre	20	19,15	383,00	173,000	383,000	-0,256	0,798	0,851
	mujer	18	19,89	358,00					
CRXOI_DIF	hombre	20	20,40	408,00	162,000	333,000	-0,738	0,460	0,613
	mujer	18	18,50	333,00					
AVOD_DIF	hombre	20	20,03	400,50	169,500	340,500	-0,309	0,758	0,762
	mujer	18	18,92	340,50					
AVOI_DIF	hombre	20	17,93	358,50	148,500	358,500	-0,925	0,355	0,361
	mujer	18	21,25	382,50					
AVB_DIF	hombre	20	19,50	390,00	160,000	313,000	-0,306	0,760	0,775
	mujer	17	18,41	313,00					
STEREO_DIF	hombre	20	20,08	401,50	168,500	339,500	-0,336	0,737	0,740
	mujer	18	18,86	339,50					
FL_DIF	hombre	18	16,11	290,00	119,000	290,000	-0,867	0,386	0,403
	mujer	16	19,06	305,00					
RTVFNL_DIF	hombre	20	16,00	320,00	110,000	320,000	-1,596	0,111	0,116
	mujer	16	21,63	346,00					
RBVFNL_DIF	hombre	20	19,53	390,50	139,500	275,500	-0,655	0,513	0,519
	mujer	16	17,22	275,50					
RTVFPL_DIF	hombre	19	15,87	301,50	111,500	301,500	-0,784	0,433	0,439
	mujer	14	18,54	259,50					

Rangos (Tabla 18. Continuación)					Estadísticos de prueba				
Genero		N	Rango promedio	Suma de rangos	U de Mann-Whitney	W de Wilcoxon	Z	Sig. Asintótica (bilateral)	Significación exacta [2*(sig. unilateral)]
RBVFPL_DIF	hombre	19	18,34	348,50	126,500	246,500	-0,557	0,578	0,584
	mujer	15	16,43	246,50					
FP_DIF	hombre	20	20,93	418,50	111,500	247,500	-1,553	0,120	0,124
	mujer	16	15,47	247,50					
RTVFNP_DIF	hombre	20	18,60	372,00	158,000	294,000	-0,064	0,949	0,962
	mujer	16	18,38	294,00					
RBVFNP_DIF	hombre	20	19,00	380,00	150,000	286,000	-0,319	0,749	0,765
	mujer	16	17,88	286,00					
RTVFPP_DIF	hombre	18	17,44	314,00	127,000	247,000	-0,290	0,772	0,789
	mujer	15	16,47	247,00					
RBVFPP_DIF	hombre	18	18,25	328,50	130,500	266,500	-0,466	0,641	0,646
	mujer	16	16,66	266,50					
FAOD_DIF	hombre	20	17,10	342,00	132,000	342,000	-1,472	0,141	0,167
	mujer	18	22,17	399,00					
FAOI_DIF	hombre	20	19,75	395,00	175,000	346,000	-0,149	0,881	0,897
	mujer	18	19,22	346,00					
FAB_DIF	hombre	20	14,83	296,50	86,500	296,500	-2,614	0,009	0,010*
	mujer	17	23,91	406,50					
AAOD_DIF	hombre	20	20,10	402,00	168,000	339,000	-0,351	0,726	0,740
	mujer	18	18,83	339,00					
AAOI_DIF	hombre	20	22,75	455,00	115,000	286,000	-1,901	0,057	0,059
	mujer	18	15,89	286,00					
MEM40D_DIF	hombre	20	18,53	370,50	160,500	370,500	-0,580	0,562	0,573
	mujer	18	20,58	370,50					
XMEMD_DIF	hombre	17	14,59	248,00	95,000	248,000	-0,834	0,404	0,536
	mujer	13	16,69	217,00					
MEMXD_DIF	hombre	18	16,78	302,00	103,000	194,000	-0,574	0,566	0,594
	mujer	13	14,92	194,00					
MEM40I_DIF	hombre	20	17,50	350,00	140,000	350,000	-0,929	0,353	0,373
	mujer	17	20,76	353,00					
MEMXI_DIF	hombre	18	19,92	358,50	46,500	137,500	-2,858	0,004	0,004*
	mujer	13	10,58	137,50					
TV1V2_DIF	hombre	17	16,97	288,50	85,500	176,500	-1,048	0,294	0,300
	mujer	13	13,58	176,50					

*Diferencias significativas

Rangos (Tabla 18. Continuación)					Estadísticos de prueba				
Genero		N	Rango promedio	Suma de rangos	U de Mann-Whitney	W de Wilcoxon	Z	Sig. Asintótica (bilateral)	Significación exacta [2*(sig. unilateral)]
TH_DIF	hombre	17	15,76	268,00	106,000	197,000	-0,190	0,850	0,869
	mujer	13	15,15	197,00					
THTV_DIF	hombre	18	17,61	317,00	88,000	179,000	-1,162	0,245	0,258
	mujer	13	13,77	179,00					
RVB_DIF	hombre	20	19,45	389,00	179,000	389,000	-0,029	0,977	0,988
	mujer	18	19,56	352,00					
RMB_DIF	hombre	20	21,43	428,50	141,500	312,500	-1,126	0,260	0,264
	mujer	18	17,36	312,50					
COOM_DIF	hombre	20	20,73	414,50	155,500	326,500	-0,719	0,472	0,478
	mujer	18	18,14	326,50					
ANT_DIF	hombre	20	16,90	338,00	128,000	338,000	-0,734	0,463	0,479
	mujer	15	19,47	292,00					

Entre todas las diferencias analizadas en función del género con la tabla anterior (Tabla 18) sólo se ven esas diferencias en la flexibilidad acomodativa binocular después del entrenamiento de 1 hora siendo más bajo en hombres y en el MEM del ojo izquierdo a la altura de la mira o túnel del arma que como vimos corresponde a punto más alejado del ojo en el arma. Para mejor interpretación se muestran los datos de la diferencia en flexibilidad acomodativa binocular (FAB_DIF) y la diferencia en el MEM para la distancia del túnel del ojo izquierdo (MEMXI_DIF) en formato figura (Figura 45 y Figura 46).

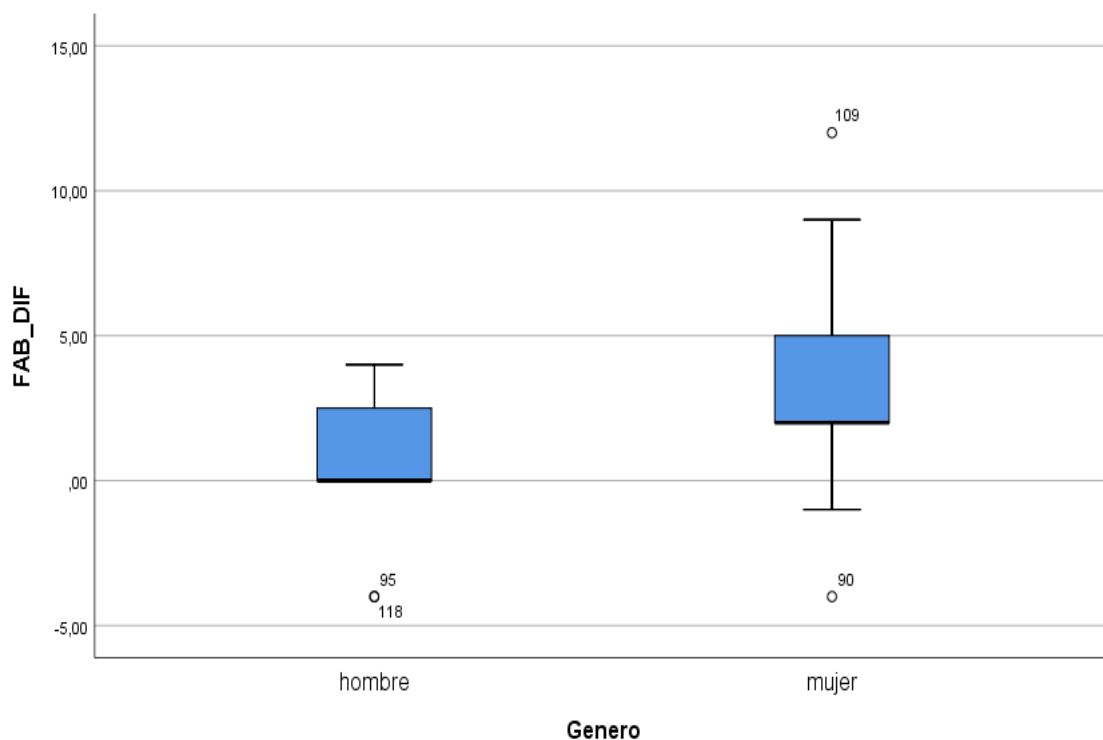


Figura 45. La diferencia producida en la flexibilidad acomodativa binocular (FAB_DIF)

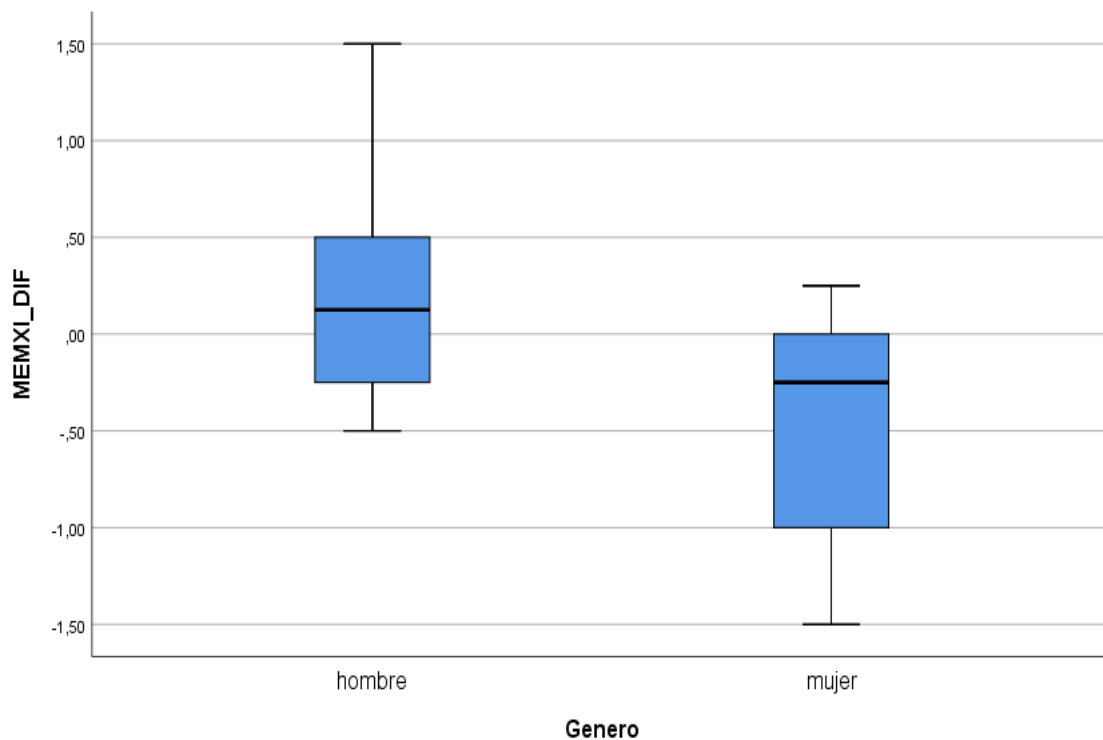


Figura 46. Diferencia en la distancia al túnel donde se mide el MEM en el OI

En segundo lugar, vemos las diferencias más significativas en función de la mejor marca lograda en competición. La Tabla 19 recoge estos datos. En este caso se seleccionan dos grupos en función del resultado estadístico que se genera al aplicar el

estadístico correspondiente, con marca por debajo o igual a 580 puntos o por encima y solo aparecen diferencias en el tiempo visual siendo menor en el grupo de mejor marca

Tabla 19. Diferencias en reacción visual según la marca en competición

Rangos				Estadísticos de prueba					
Marca	N	Rango promedio	Suma de rangos	U de Mann-Whitney	W de Wilcoxon	Z	Sig. Asintótica (bilateral)	Significación exacta [2*(sig. unilateral)]	
RVB_DIF (de Tabla 17)	Marca<=580	16	22,72	363,50	60,500	231,500	-2,885	0,004	0,003
	Marca>580	18	12,86	231,50					

En función de las marcas, las diferencias entre las pruebas optométricas antes y después del entrenamiento, se produjeron en el tiempo visual o sensitivo más bajos en los tiradores con marcas en competición superiores a 580 puntos. Esa diferencia fue de -0,059 s mejor mientras que en el grupo con marca por debajo de 580 puntos fue peor con una diferencia de 0,039 s transcurriendo más tiempo en la ejecución, lo que representa una reducción de un 23,1% en el grupo en los mejores tiradores y un incremento de un 13,3% en el grupo de tiradores con marcas más bajas, por lo tanto, representa una diferencia de un 36,4% entre grupos a favor de los tiradores cuyas marcas en competición son mayores (Figura 47).

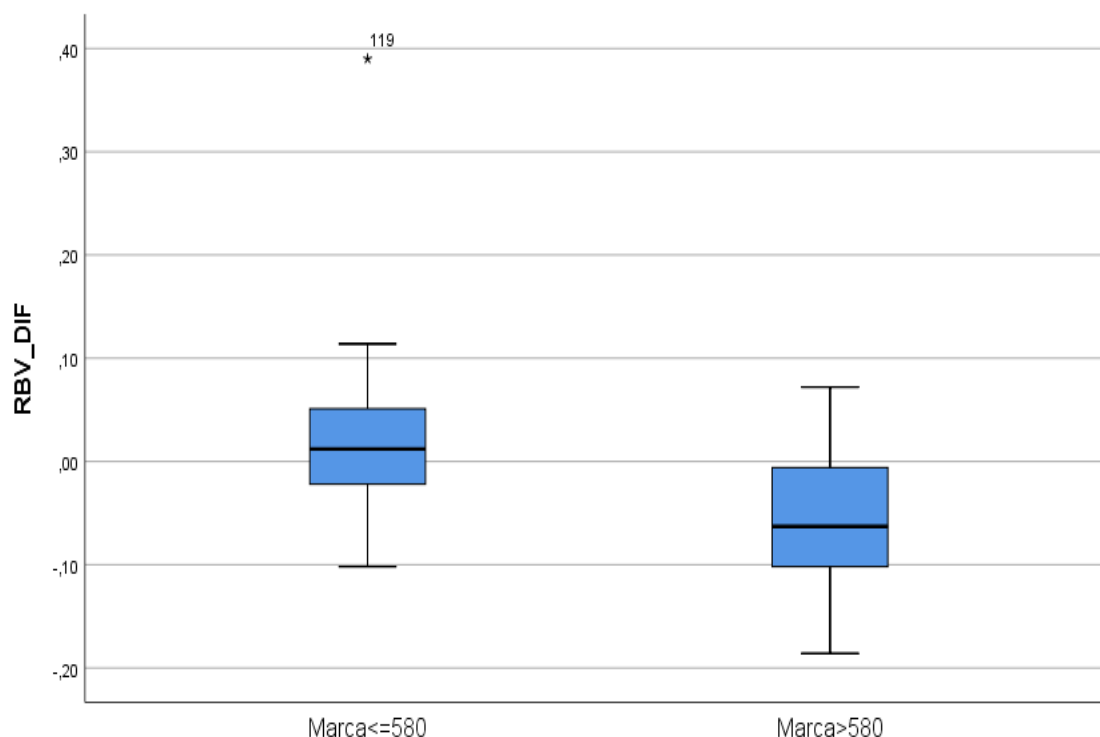


Figura 47. Tiempo visual obtenido en los dos grupos separados por nivel de marca en competición

La relación gráfica entre el tiempo de reacción visual y la marca o mejor resultado en competición muestra mayor variabilidad entre individuos del grupo con una marca inferior a 580 puntos (Figura 48)

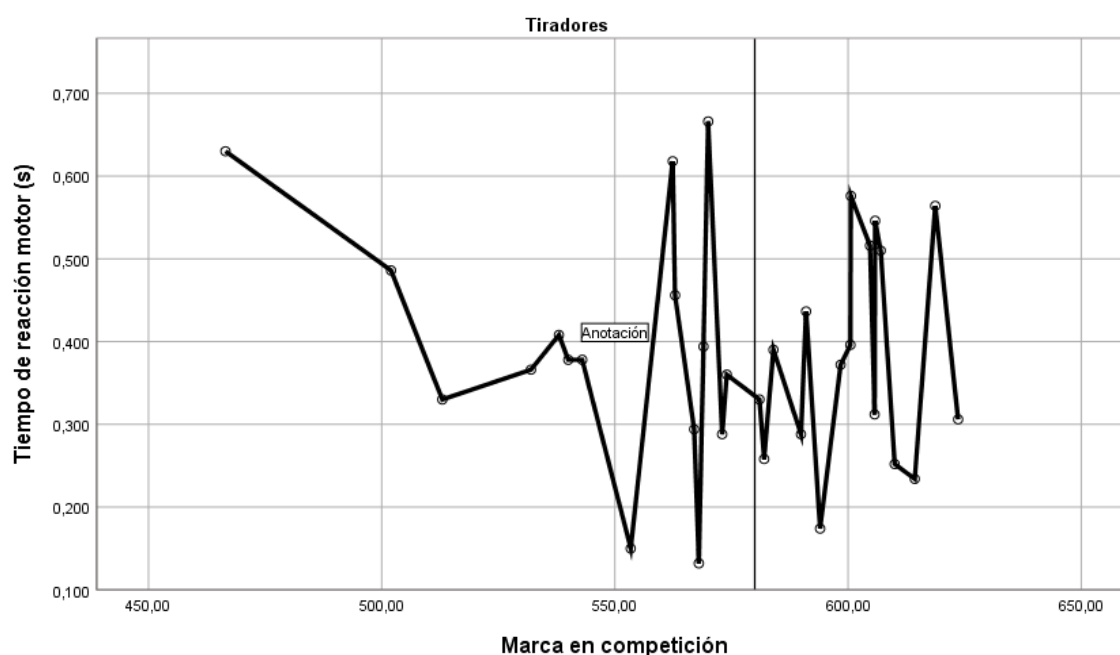


Figura 48. Relación entre el tiempo de reacción y los mejores resultados conseguidos en competición

Por último, vemos las diferencias más significativas en función de la edad donde se han separado los datos en tres grupos (menor de 20 años, entre 20 y 30 años y los mayores de 30 años según el estadístico aplicado al grupo que agrupa las poblaciones en números de personas de forma uniforme). Separando así la variación de los datos usando la prueba de Kruskal-Wallis. De esta forma solo se han encontrado diferencias en la foria de lejos (Tabla 20).

Tabla 20. Diferencias significativas en foria de lejos según edad

	EDAD	N	Rango promedio	H de Kruskal-Wallis	gl	Sig. asintótica
FL_DIF	ED<20	13	21,08	13,012	2	0,001
	ED20-30	7	5,57			
	ED>30	12	17,92			

En la Figura 49 se aprecian valores más altos de exoforia en el grupo de edad intermedia (entre 20 y 30 años).

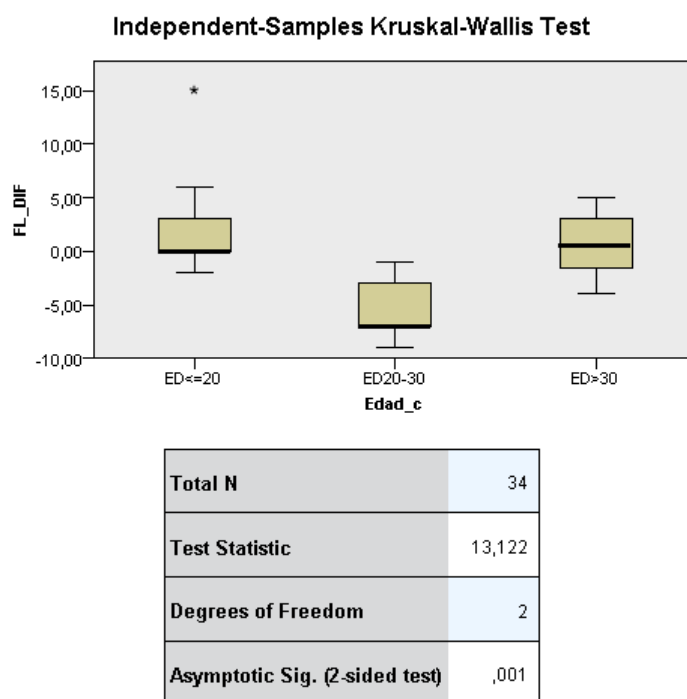


Figura 49. Diferencias significativas en la foria de lejos (FL_DIF) entre los 3 grupos de edad

También había diferencias en la flexibilidad acomodativa para el ojo derecho y en este caso si observamos la Figura 50 se observan peores resultados para el grupo de mayor edad.

Tabla 21. Diferencias significativas en la flexibilidad acomodativo del ojo derecho según edad

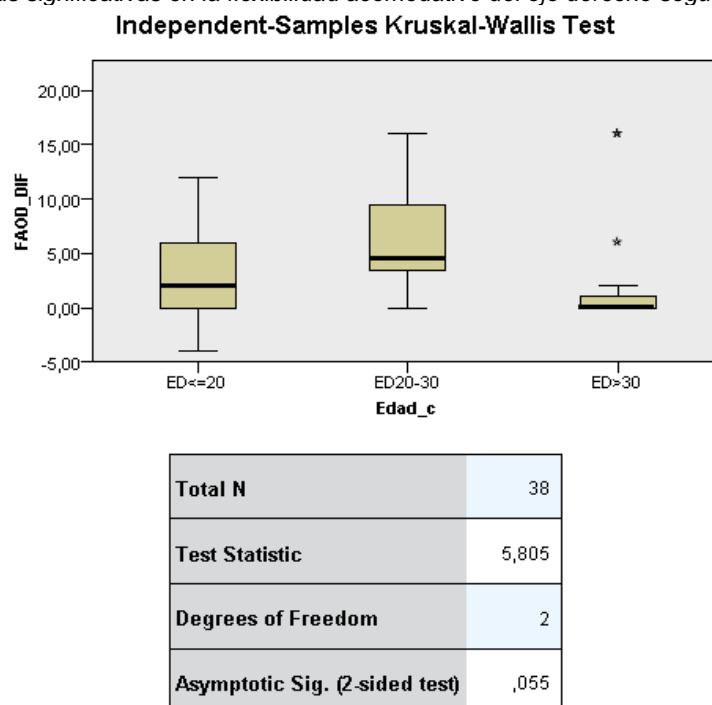


Figura 50. Diferencias significativas en la flexibilidad acomodativa del OD en función de la edad

Las diferencias en la flexibilidad acomodativa binocular también varían en función de los grupos de edad siendo también el peor resultado para mayores de 30 años (Figura 51)

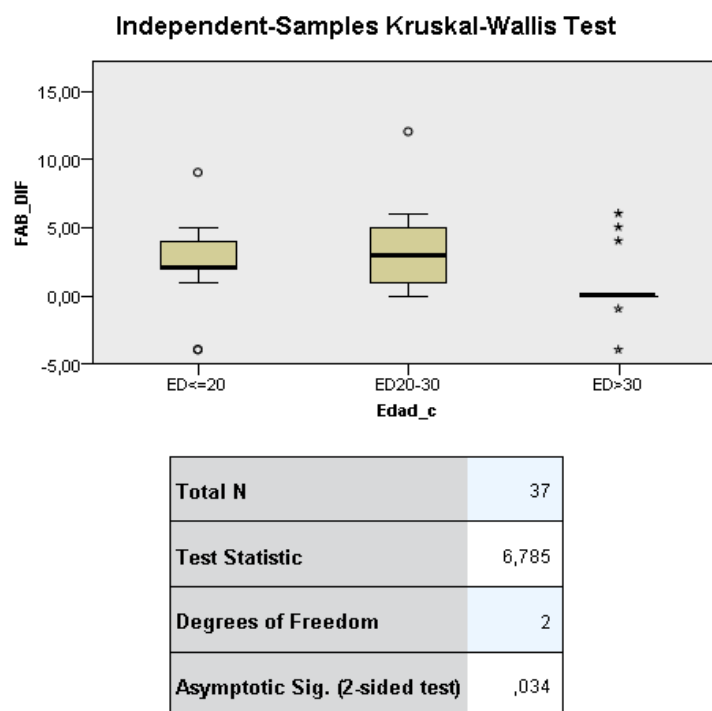


Figura 51. Diferencias significativas en la flexibilidad acomodativa binocular según edad

La puntuación de los entrenadores a la labor de medición optométrica de los tiradores fue en todos los casos 10. Los comentarios personales de los entrenadores confirmaron la necesidad de una atención optométrica más regular de los tiradores para futuras temporadas.

7.6. *interés de los entrenadores por la intervención.*

Tras la realización de la pregunta formulada a través de la aplicación WhatsApp a los 3 entrenadores, una vez finalizada la experiencia en cada etapa y lugar, se obtuvo un resultado unánime por parte de los mismos y fue en una escala de 0 a 10 con la puntuación de 10, argumentando la utilidad por parte del entrenador una revisión visual completa además de obtener información sobre sus habilidades o de la función acomodativa y binocular asociada a las condiciones de tiro. Destacaron también la interacción de los tiradores en la realización de las pruebas e incluso su interés por superar al resto, siempre en forma de competitividad sana. Además, algún entrenador exclamó la falta de atención al sistema visual por parte de los organismos oficiales durante años y valoró positivamente la atención recibida por parte de sus tiradores.

En todos los casos, los entrenadores se interesaban por sus deportistas con permanentes preguntas sobre determinadas cuestiones que no podían entender sobre limitaciones en la imagen observada en el túnel de la carabina de enfoque, cuestiones sobre la luz en la diana o como afectaba en la visión del tirador, así como un largo etcétera de interesantes cuestiones para lograr un mejor resultado final.

7.7. *Elaboración de patentes producto de la tesis*

Como producto de la investigación realizada en esta tesis doctoral, se han desarrollado una serie de patentes, entre la que cabe destacar la patente titulada **“Heterophoria measurement and training system” ES2430600B2**, en los laboratorios de la Facultad de Óptica y Optometría y tras un periodo de elaboración, se derivaron a la OTRI de la propia Universidad Complutense de Madrid, donde recibía las correcciones correspondientes al estilo o posibles modificaciones cuando podían inferir en novedad o inventiva respecto a otras patentes ya existentes. Esta patente se ha empleado en el apartado de Evaluación del estado visual de una población de alumnos del grado de Óptica y Optometría como grupo control sedentario (OEPM, 2018).

Se elaboraron en base a la experiencia con otros materiales utilizados en la tesis y para su uso en la misma. Los títulos y número de las patentes son los siguientes:

“Dispositivo para la evaluación de habilidades visuales” ES2688472B2 (Bernárdez Vilaboa & Villena Cepeda, 2018)

“Caja de acomodación para el método de acercamiento modificado”. ES2464915B2 (Villena Cepeda & Bernárdez Vilaboa, 2014)

“Caja para la medida de la amplitud de acomodación con lentes oftálmicas” ES2456592B2. (Villena Cepeda & Bernárdez Vilaboa, 2015)

“Sistema inhibidor del exceso acomodativo y/o del espasmo acomodativo”. ES2532411B2. (Bernárdez Vilaboa, 2015)

8. DISCUSIÓN

8.1. Pruebas en común y evaluación del estado visual de la población total analizada.

La población total sedentaria y deportista fue de 125 personas (85 sedentarios y 40 tiradores) y tras el análisis de Kolmogorov-Smirnov para poblaciones superiores a 30 individuos se observó que esta población no se comportaba de manera normal. Por lo tanto, se utilizaron los estadísticos no paramétricos en cualquier otro análisis y, por lo tanto, se han presentado, la mediana, destacándolas en cada tabla, utilizado como valor de cada variable, como corresponde, en estos casos.

Se han agrupado los tiradores de élite de la selección española con los de la federación madrileña por tratarse de sujetos de la misma modalidad olímpica y dado que la población de la selección es muy pequeña. En la literatura especializada, estas poblaciones de deportistas, en cualquier deporte, son exclusivamente de un solo género (Baptista, Serra, McAlinden, & Barrett, 2017; Honda, Chang, & Kim, 2018; Zwierko, Jedziniak, et al., 2018), incluso en entrenamientos, pero en el tiro olímpico, hay modalidades comunes y los entrenamientos también se hacen simultáneamente.

En la literatura especializada suele aparecer una selección de jugadores diestros en varios trabajos (Dalton, Guillon, & Naroo, 2015; Domingues et al., 2008); sin embargo, en nuestro estudio hemos aceptado tanto a diestros como a zurdos en la población sedentaria aleatoria y, por tanto, se han aceptado ambas preferencias en los tiradores, siendo similares los porcentajes de unos y otros (91,8% en sedentarios frente a un 92.5% en tiradores en Tabla 8).

Esta población tuvo un importante número de emétopes puesto que los valores de las medianas en esfera era cero y en cilindro, también, en ambos ojos, reflejados en la refracción del máximo positivo para máxima agudeza visual. Los valores de agudeza visual, tanto monocular como binocular, indican una buena percepción visual o capacidad para distinguir detalles de un objeto o imagen observada por la población analizada según los valores normales de la agudeza visual (Grosvenor, 2005).

Binocularmente, las personas estudiadas son exofóricas, con valores normales similares a los de otros estudios (Gong, Troilo, & Richdale, 2017; Ozkan, Fedtke, Chung, Thomas, & Bakaraju, 2018) permitiendo una visión más relajada en condiciones binoculares. Es verdad que en la modalidad en tiro olímpico de precisión se utiliza la

visión monocular, ocluyendo el ojo no utilizado en la acción de apuntar a la diana, pero esta condición binocular en exoforia, indica la gran facilidad de adaptación del tirador en el cambio de la actividad deportiva, durante el entrenamiento regular, a su visión binocular habitual. Tal vez esto sea un elemento a tener en cuenta sobre la repercusión de la fatiga en la tarea de la práctica del tiro.

El tiempo de reacción visual separado en los dos elementos medidos, tiempo visual y tiempo motor, se obtuvieron resultados similares a los encontrados en otros estudios medidos a otros deportistas (Abbasi-Kesbi, Memarzadeh-Tehran, & Deen, 2017; Hulsdunker, Struder, & Mierau, 2017; Snow, Blair, MacDonald, Byrne, & Basset, 2018), por lo tanto, podemos considerar que los tiradores olímpicos alcanzan unas habilidades equivalentes a otros deportistas de diferentes modalidades, a pesar de tratarse de una actividad más estática.

A propósito del valor de la coordinación ojo mano, nuestras diferencias respecto a otros datos aparecidos en resultados habituales, publicados en los últimos estudios en revistas científicas, son porque se hacen en forma de tiempos de reacción en milisegundos, realizados con diferentes equipos de medida no estandarizados mientras con el WSF se anota en pulsaciones por minutos (Hsu et al., 2010; Lazzari, Mottet, & Vercher, 2009).

8.2. Evaluación del estado visual de una población de alumnos del grado de Óptica y Optometría como grupo *control sedentario*

Sobre los resultados de la evaluación del estado visual de una población sedentaria (un total de 109 participantes), se ha podido utilizar un número elevado de personas en este grupo, pero se han descartado un total de 24 pacientes al detectar problemas de AV establecido en la investigación por un valor decimal igual o superior a 0.9. En otros casos, por estrabismos, valores de forias muy elevados o excesos de acomodación rozando el espasmo acomodativo.

La población más numerosa es de emétopes por eso el valor de la mediana sale cero tanto en esfera como en cilindro en ambos ojos, pero los astigmatas o miopes tienen un grupo bastante similar y pueden ser igual de importantes que el de los emétopes. Tanto en miopes como en astigmatas, se han considerado valores bajos para incluirlos en ese grupo, mientras otros autores no consideran estos márgenes al dar los resultados en equivalente esférico (Hastings, Marsack, Nguyen, Cheng, & Applegate, 2017; Snow et al., 2018; Solaiman et al., 2019).

Los valores de la AV tanto monocular como binocular, indican una buena refracción en los voluntarios sedentarios que, si relacionamos directamente con la mediana de esfera y cilindros, se corresponden perfectamente con un estado refractivo ideal para realizar pruebas funcionales en las mejores condiciones posibles (Grosvenor, 2005).

Binocularmente ocurre igual con el estado fórico, donde tampoco hay valores fuera de lo normal, más bien dentro de los datos normalizados, tanto en visión lejana como en visión de cerca de 40 cm (Hashemi et al., 2017; Quevedo i Junyent & Sole i Forto, 1995). Sumados ambos componentes visuales, se reúne un conjunto de personas útil como grupo control en la comparativa con otros grupos con características diferentes, como así vamos a hacer con los tiradores olímpicos. Los datos esenciales evaluados a esta población eran ideales para medir tanto sus propios tiempos de reacción como la coordinación ojo-mano.

8.3. *Evaluación del estado visual de una población de deportistas de tiro olímpico.*

En cuanto a la población de tiradores olímpicos (9 tiradores de élite y 31 de la federación madrileña de tiro) de las modalidades de precisión con carabina y pistola de aire comprimido a 10 m básicamente, se analizan como un solo grupo por las características similares que suponen las dos armas, si bien es fácil que los mismos tiradores hagan incursiones en otras modalidades, fundamentalmente por cambiar de distancias (25 y 50 m) o disposición del cuerpo, donde en carabina se puede hacer de pie, de rodillas o tumbado. Además, se han agrupado los tiradores de elite (Ihalainen, Linnamo, Mononen & Kuitunen, 2015) en nuestro caso los becados en la BLUME (dependencias del Consejo Superior de Deportes para jóvenes promesas pertenecientes a la selección nacional en diferentes modalidades deportivas) con los de la federación madrileña, todos ellos con diferentes niveles de competición y edades, para analizar las variables en función de edad, marca y género. Esta es la justificación de tener una población de 40 deportistas (9 de élite + 31 de la comunidad de Madrid) y la diferencia en la edad con respecto de los sedentarios. En esta población vuelve a repetirse un reparto de ametropías donde predomina la emetropía, por eso la mediana es cero tanto en esferas como cilindros en ambos ojos.

Es muy difícil reunir un grupo nacional numeroso de tiradores de élite, salvo que compitan en diferentes modalidades y los centros de tiro se agrupen en la misma ciudad. Esto no ocurre, en el consejo superior de deportes con el tiro olímpico, donde la

estancia becada en la Blume o residencia donde viven durante la temporada, los tiradores que entrenan en el centro de alto rendimiento (CAR) son muy pocos. Hemos llegado a reunir 9 de ellos en las distintas fases de medida del protocolo propuesto al entrenador nacional de España. Llegados a este punto, nos vimos en la necesidad de ampliar esta población, buscando otros centros en la Comunidad de Madrid donde se practican estas modalidades de pistola y carabina de aire comprimido a 10 m. También encontramos un grupo reducido de deportistas con características similares a los primeros.

Con este reparto de ametropías (emétropes, hipermétropes, miopes y astigmatas) y compensados todos ellos con la mayor potencia positiva, se logran unas AV decimales muy buenas (Furlan et al., 2011; Montés-Micó, 2012), pero destaca la mejora de la AV binocular, entendiendo que cualquiera de las modalidades, con pistola o carabina, se realizan de forma monocular, suponiendo a priori un empeoramiento en la asociación de las imágenes entre ojos para mejorar esa AV binocular, pero no se ha demostrado nada similar en esta población, en las medidas iniciales realizadas para caracterizar al grupo (Li et al., 2016).

Sin embargo, binocularmente, se produce una variación hacia la exoforia, dentro de la normalidad, tanto en visión lejana como de cerca. Esa variación si puede indicar una condición binocular más propicia para disociar las imágenes, en el momento del tiro, ejecutado de forma monocular, con la oclusión del ojo no dominante. También tenemos que tener en cuenta la edad media de este grupo con personas presbitas y, por tanto, con menor acomodación y mayor tendencia a la exoforia.

En esta población se ampliaron las medidas para conocer información de la calidad de la función de sensibilidad de contraste antes de iniciar la sesión de entrenamiento, para la realización del estudio completo. No hemos tenido que descartar a ningún deportista por este motivo por encontrarse en un nivel elevado o superior al 80% de pérdida del contraste mientras mantiene buena AV. Al ser el blanco un centro negro sobre superficie blanca, se necesita un alto contraste para estar cómodo a la hora de apuntar al centro. Este es el principal motivo por el que se mide la calidad de esa variable, además de asociarse a posibles patologías a descartar en el estudio si hubieran aparecido (Karabay & Akyurek, 2019).

8.4. Diferencias generales y visuales entre sedentarios y deportistas de tiro olímpico

Una vez conocido el estado visual de ambos grupos, sedentarios y tiradores procedimos a realizar la comparativa de varias pruebas. Destaca la diferencia del ojo dominante entre ambas poblaciones, siendo la diferencia a favor de un mayor número de ojos dominantes derechos entre deportistas, donde la mayoría apuntan con el ojo derecho y utilizan la mano del mismo lado, puesto que sería complicado hacerlo cruzado, si bien en algún caso el tirador cruza la mano con el ojo dominante, mientras que el sedentario, evaluado también con la prueba de la tarjeta horadada, utiliza el ojo, sin definir claramente la preferencia por de la mano del mismo lado.

En los estudios sobre deportistas, es habitual, descartar a zurdos para trabajar exclusivamente con diestros, sin embargo, no es nuestro caso, donde se incluyen todos los tiradores siendo su mano dominante cualquiera de las dos. No es necesario una prioridad absoluta en las tareas del sedentario, el uso del ojo y mano del mismo lado, aunque pueda retrasar el proceso de adquisición de información visual. Estas diferencias de milésimas de segundo, no suponen una mejora sustancial en la actividad desarrollada por una persona sedentaria concentrada en lectura y escritura en su formación universitaria frente a lograr la máxima puntuación con el mejor alineamiento entre ojo y miras del arma para recibir la información en el ojo sin interferencias creadas por el ojo tapado ni ángulos difíciles de compensar.

En cuanto a las variables utilizadas, estadísticamente la población adolece de falta de normalidad según los estadísticos Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk, en ambas poblaciones y por ello, se recurrió a las medianas y estadísticos no paramétricos. En estas condiciones, aparecen diferencias significativas en la distancia naso pupilar, la AV mono y binocular, en forias de lejos y cerca y tiempo motor binocular.

Las distancias naso pupilares mayores en los tiradores también respaldan una mayor habilidad para adaptarse a la visión monocular disociando con mayor comodidad la imagen de las miras de la imagen del ojo tapado. Es verdad que la oclusión no es simétrica respecto de la cara y se pueden observar un sinnúmero de disposiciones del oclisor, con el único objetivo de hacer desaparecer imágenes simultáneas o visión doble. No es una oclusión simétrica por la simple razón que el tirador dispone su cuerpo de forma perpendicular a la diana para poder sujetar el arma firmemente y alejando el ojo no dominante fuera del campo del primero.

La AV monocular y binocular es significativamente más alta (1,56 en binocular y 1,40 en monocular) en el grupo de tiradores que en el de referencia (Baptista et al., 2017; Morilla, 2017). Aunque estos datos se pudieran considerar como circunstanciales,

hay dos razones para intentar explicar este fenómeno. La primera razón sería por motivos acomodativos dado que la población con la que se compara fue de estudiantes en un grado universitario de 4 cursos y su principal actividad fundamentalmente era de cerca, a distancias de 40 cm o menos, dado que es muy habitual encontrar excesos y espasmos de acomodación entre este grupo de población. De ocurrir esta anomalía acomodativa, uno de los signos característicos habría sido tener una AV unidad o menos con la mejor compensación. Tal y como hemos visto, la mediana de la AV en sedentarios fue de 1,10 tanto monocular como binocularmente y en los tiradores fue de 1,40 en el ojo derecho, 1,39 en el izquierdo y 1,56 binocularmente, dando a entender que la mayoría no tenía exceso o espasmo acomodativo en el momento del examen visual, según la definición formulada. Por otro lado, los tiradores más jóvenes tienen una sintomatología similar a la de los sedentarios, pero en el grupo, los tiradores presbítas, no pueden sufrir este problema, salvo que se hubiera producido un sobreesfuerzo siempre que conservaran un resto de amplitud de acomodación, siendo en estas condiciones más fácil encontrar valores altos de AV, siempre y cuando no aparezcan características adversas al proceso fisiológico normal. Una segunda razón o ventaja en el periodo de entrenamiento es la distancia de las miras respecto del ojo dominante, que es de un valor medio de unos 90 cm, muy superior a cualquier actividad de una lectura o escritura como principales tareas del sedentario en su formación académica.

Como explicamos en el apartado 7.1. de pruebas en común y evaluación del estado visual de la población total, analizadas las diferencias entre las forias de lejos y las de cerca entre los grupos, al ser exoforia, benefician la adaptación monocular en la acción de apuntar del tirador olímpico.

En cuanto al tiempo motor que corresponde como definimos anteriormente, a la parte del tiempo de reacción visual del movimiento de la mano para alcanzar el segundo estímulo luminosos, se presenta una novedad que consiste en un mejor tiempo para sedentarios que para tiradores a cualquier edad, salvo casos particulares. Una explicación para esta razón consiste en suponer que el deportista no está suficientemente activo al tratarse de una actividad sin presión, se trataría de un entrenamiento sin nada en juego (Rodríguez y Granero, 2014; Olivares y López, 2016). Para poder comprobar esta suposición deberíamos realizar el análisis durante la propia competición, pero un examen visual completo supone entre 40 y 50 minutos de medidas haciendo inviable la comprobación. Cabe diseñar una serie de pruebas rápidas de ejecutar y deberían obviarse datos que no han variado al tratarse de información bastante estable visualmente respecto a la fatiga visual, como hemos comprobado tras una sesión de una hora de entrenamiento.

8.5. Variación del estado optométrico con el ejercicio del entrenamiento rutinario de los deportistas de tiro olímpico.

Las variaciones optométricas detectadas tras el entrenamiento, nos describen hasta qué punto el deportista ha experimentado un posible deterioro de las habilidades y funciones visuales por la actividad propia del tiro a la diana con el arma utilizada en condiciones de estabilidad en posición de pie. Por tanto, cuando ya se analizan las diferencias producidas tras la hora de entrenamiento, no aparecen cambios en el tiempo motor, si se pudiera entender que la reducción del tiempo que se ha producido en esta prueba con una reducción del 23,1% ratificaría la activación del deportista por disparar e intentar mejorar sus puntuaciones, sin embargo, sigue sin aparecer la presión propia de la competición. En estas condiciones no se puede definir el supuesto anterior. En esta ocasión se ha utilizado la prueba de rangos con signo de Wilcoxon para las diferencias dando rangos negativos mayores que los positivos o viceversa con una significación inferior a $P < 0,05$ (Zwierko, Popowczak, Wozniak, & Rokita, 2018).

Los resultados obtenidos apuntan a que esta sesión de tiro de una hora ha supuesto variaciones significativas en la AV del OD del tirador al reducirse su valor. Sabiendo que el ojo derecho es el ojo dominante para el 92,5% de los tiradores, sin embargo, esa pérdida de AV no afectó en gran medida la efectividad del tiro. Esa pérdida de visión lejana tras el entrenamiento se ha tenido en cuenta, pero al no afectar directamente en el acierto del tiro sobre la diana, se asociaron estos aciertos a que cuando se enfoca el túnel de la carabina o mira de la pistola, no se percibía la diana con una definición perfecta y si los elementos de alineamiento de las armas situadas a distancias más cortas.

En visión binocular, se reducen los valores de la rotura de las vergencias negativas en cerca que, asociadas a la exoforia, no suponen ningún inconveniente para proseguir con la actividad cotidiana tras el entrenamiento. Es cierto que la rotura de la vergencia positiva es de promedio tan elevado para la exoforia encontrada para el grupo que permite recuperar la visión binocular óptima sin dificultad. Destaca pues la variación por reducción de esa variable de rotura de la vergencia negativa en cerca por fatiga.

Otra variable que se ve afectada por aumento es la flexibilidad acomodativa, tanto monocular como binocular. En el grupo de presbítas de los mayores de 30 años, es una variación pequeña y no representa ningún inconveniente en la interpretación de este

aumento, sino más bien refuerza el cambio. Cualquier présbita con presbicia absoluta no tendría cambios en ningún sentido al no tener amplitud de acomodación, por ello, si el grupo sufriera una fatiga considerable por acomodación debería obtener un valor menor de esta variable. En este caso, ocurre más bien lo contrario, la flexibilidad acomodativa aumenta y lo hace siempre entrando en los valores esperados para la prueba. Sin embargo, cuando observamos con detalle los resultados, es sorprendente ver cómo incluso en el ojo derecho la mediana está por debajo del resultado medio alcanzado un resultado normal y muy cercano al del ojo izquierdo tras el entrenamiento. Por tanto, no sólo no se reduce el valor, sino que mejora y se normaliza (Montes-Mico, Madrid-Costa, Radhakrishnan, Charman, & Ferrer-Blasco, 2011).

Sin duda, este fenómeno desvela una relación muy interesante a resolver con más casos, pero se puede interpretar como el efecto del ejercicio de los ojos en el cambio de enfoque desde el alza al túnel o mira hasta encuadrar el cañón con la diana, modificando la acomodación fundamentalmente entre 90 y 10 cm la potencia o flexibilidad acomodativa de mucha variación (entre 1 D y 10 D aproximadamente). Un ejercicio mucho más severo que el uso de un flipper utilizado para la medida de la prueba.

Otra variable reveladora fue la coordinación ojo-mano. Es una prueba que al realizarse debe producir fatiga y molestias en el brazo utilizado en la medida, por los cambios constantes a distintas posiciones del tablero durante un minuto de tiempo. Se trata de iniciar las pulsaciones siempre en la posición de partida, arriba en la parte superior pasando por un círculo de 16 LED con unas dimensiones en ese tablero de 72 cm de diámetro. Como esta prueba se repite varias veces, podría producirse un efecto de cansancio en cada ejecución con reducción de los resultados. Esto no fue así, llegando esta variable a poder ser determinante en la detección de la fatiga tras una hora de entrenamiento si su resultado fuera menor a la inicial, pero ocurrió precisamente lo contrario y con un aumento realmente importante (16 cpm de diferencia; $P < 0,001$). ¿Entonces donde radica esa variación? Sin duda, en el aprendizaje, pero después de hacerlo varias veces en la primera tanda se supone eliminado ese efecto. El beneficio parece radicar en la ejecución del disparo durante un mínimo de 60 tiros a lo largo de la sesión de entrenamiento, donde percutir el arma tiene una gran similitud con desplazar en una pantalla de mayores dimensiones el brazo dominante, lo que ha favorecido el incremento en el resultado.

A pesar del tiempo de entrenamiento, lo que supone atención elevada a las partes del arma para apuntar adecuadamente en la diana, sostener el arma para que se quede firme, el control de la respiración para que no se mueva en el momento del disparo, la

repetición de la acción en un número elevado de ocasiones y el estado psicológico en función del comportamiento de los aciertos. Además de la variación de los resultados de las pruebas visuales implicadas, para mejor o peor valor, como han sido en el grupo en general para la AV del ojo dominante o el más utilizado, la reducción de la rotura de la vergencia negativa en cerca y la flexibilidad acomodativa. A pesar de todo ello, la coordinación ojo-mano, medida con el instrumento Wayne Saccadic Fixator, mejora en un rango muy significativo.

Este resultado está muy lejos de cualquier otro estudio donde su resultado tiende a empeorar, poniendo en valor su variación y demostrando la mayor capacidad del tirador por lograr el acierto en el tiro, pese a la hora de entrenamiento con la consecuente fatiga que, sin embargo, no repercute en esta variable. Esta interpretación se ha realizado para el grupo completo, pero cuando se ha analizado por género, edad y marca, los efectos han sido diferentes.

Respecto al género, la variación de la acomodación en hombres es inferior a la de las mujeres, sin duda por tratarse de un grupo con una mayor cantidad de pre-présbitas y présbitas entre los hombres. Mientras en el ojo izquierdo, las mujeres tienen una desviación hacia un MEM con valores más negativos, indicando pérdida de relajación o mayor estimulación en el ojo mayoritariamente no dominante. La fatiga de una hora de entrenamiento afecta al ojo no utilizado para apuntar, llegando a estimularse la acomodación de forma significativa. Después de las medidas de amplitud y otras pruebas de acomodación se ideó y publicaron dos patentes con los números ES2464915 B2 titulada “Caja de acomodación para el método de acercamiento modificado” y ES2456592 B2 titulada “Caja para la medida de la amplitud de acomodación con lentes oftálmicas” para una medida más precisa y rápida en futuros trabajos. El tiempo se puede acortar gracias a estos dispositivos reduciendo el tiempo de análisis, pero fundamentalmente evitando una fatiga por la propia evaluación optométrica.

En cuanto a los grupos separados según la mejor marca, los tiempos visuales o premotor son mejores a mayor marca, indicando mejor habilidad en deportistas que obtienen habitualmente mejores resultados con puestos incluso de podio o becados en la Blume como tiradores de élite, por el consejo superior de deporte.

Por último, según la franja de edad, las diferencias en la foria de lejos más exofórico para el grupo intermedio hace entender la mayor capacidad de esta población para adaptarse en visión monocular por tener mayor facilidad para disociar la imagen.

También hay diferencias en la flexibilidad acomodativa para el ojo derecho y binocularmente, el valor más bajo fue para mayores de 30 años dada la tendencia a acercarse a la presbicia con la consecuente pérdida de flexibilidad tras la sesión de entrenamiento.

8.6. Conocer el interés de los entrenadores por la intervención.

La falta de análisis optométricos en población de tiro olímpico detectada en el cuestionario realizado a los entrenadores realza más si cabe la necesidad de tesis doctorales en este ámbito, en el estudio que realizó Kopechek (Kopechek et al., 2017), , podemos ver que resulta de interés la realización de entrevistas o cuestionarios tanto a entrenadores como a sus pupilos, por lo que se considera importante su realización en los próximos trabajos y en futuras investigaciones

9. CONCLUSIONES

1. El estado refractivo más habitual entre poblaciones de sedentarios y deportistas de tiro olímpico es la emetropía (45% de emétopes).
2. La agudeza visual es mayor en tiradores (1,40) que en sedentarios (1,10) y la dominancia del ojo derecho es mayoritaria en tiradores (92,5% OD) cuando en sedentarios las diferencias son más equilibradas (65,9% OD).
3. Un entrenamiento simulado de competición de 60 minutos supone variaciones visuales en deportistas de tiro olímpico tanto binocular como monocularmente como son la AV del ojo derecho tiene una diferencia de +0,07, en la flexibilidad del ojo derecho es de 3,5 cpm, en el ojo izquierdo de 2,45 cpm y en binocular de 1,89 cpm, en la vergencia fusional negativa tiene una diferencia de -1,39 Δ y en la coordinación ojo-mano es de 5,32 ppm.
4. La agudeza visual mono y binocular mejoran y al coincidir con valores de exoforia tanto de lejos como de cerca, se relacionan con una función binocular que se desliga favoreciendo la actividad monocular del tirador olímpico con prioridad sobre posible disparidad de imágenes que podría tener con otra condición binocular.
5. Tras una hora de entrenamiento hay funciones visuales que mejoran como la flexibilidad acomodativa al aumentar y las vergencias negativas al disminuir en comparación con los valores iniciales.
6. La edad del tirador está directamente relacionada con el aumento de la exoforia y con la pérdida acomodativa tras el entrenamiento.
7. Existe una correlación positiva entre los tiradores con mejores marcas y su capacidad de reacción visual.

10. FUTURAS LINEAS DE INVESTIGACIÓN

1.- Averiguar la influencia del rendimiento visual en competición por medio de la variación de la heteroforia en diferentes deportes comparando adaptaciones visuales monoculares frente a otras normales o binoculares y permitir descubrir la barrera entre monocularidad y binocularidad en cualquier deporte para conocer su utilidad, así como, la influencia en el rendimiento visual en competición.

2.- Comprobar la variación del tiempo de reacción visual en deportistas durante sus estadios de reposo antes de la alta competición para profesionales de diferentes niveles. Nos ayudará a predecir la posible evolución o el tope de un tirador en su marca. Otra aportación sobre la marca consistirá en mejorar las habilidades del sujeto para ayudarlo a mejorarlas.

3.- Encontrar nuevos métodos optométricos para hallar el estado visual de deportistas de diferentes disciplinas utilizando tanto el WSF como un nuevo dispositivo, el tablero "binovi touch", equivalente al WSF, de la empresa eyecarrot que ha incluido tecnología digital con conexión por bluetooth.

4.- Obtener un banco de imágenes para el cálculo de la adición positiva con el objetivo principal de evitar la fatiga visual y la pérdida de rendimiento. Serán imágenes procesadas de alta calidad de la medida de la acomodación en tiradores olímpicos de diferentes modalidades, utilizando la nueva patente ES 2685054 A1 (en trámite en este momento), con la variación del MEM.

11. BIBLIOGRAFIA

- Abbasi-Kesbi, R., Memarzadeh-Tehran, H., & Deen, M. J. (2017). Technique to estimate human reaction time based on visual perception. *Healthc Technol Lett*, 4(2), 73-77. doi:10.1049/htl.2016.0106
- Alarcón, M. I. V. (2018). *Roctem: Refracción Ocular con Tiempo de Exposición en la Miopización*: Penguin Random House Grupo Editorial España.
- Axelsson, P., Fredrikson, P., Nilsson, A., Andersson, J. K., & Karrholm, J. (2018). Forearm Torque and Lifting Strength: Normative Data. *J Hand Surg Am*. doi:10.1016/j.jhsa.2017.12.022
- Aydarkin, E. K., & Bogun, A. S. (2009). Influence of simple verbal and non-verbal stimuli on brain electrical activity. *J Integr Neurosci*, 8(4), 417-424.
- Azémar, G., Stein, J. F., & Ripoll, H. (2008). Effets de la dominance oculaire sur la coordination œil-main dans les duels sportifs. *Science & Sports*, 23(6), 263-277. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.scispo.2008.06.004>
- Babinsky, E., Sreenivasan, V., & Candy, T. R. (2015). Near Heterophoria in Early Childhood. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 56(2), 1406-1415. doi:10.1167/iovs.14-14649
- Banks, M. S., Aslin, R. N., & Letson, R. D. (1975). Sensitive period for the development of human binocular vision. *Science*, 190(4215), 675-677.
- Baptista, A. M. G., Serra, P. M., McAlinden, C., & Barrett, B. T. (2017). Vision in high-level football officials. *PLoS One*, 12(11), e0188463. doi:10.1371/journal.pone.0188463
- Barbieri, F. A., Polastri, P. F., Gobbi, L. T. B., Simieli, L., Pereira, V. I. A., Baptista, A. M., . . . Rodrigues, S. T. (2018). Obstacle circumvention and eye coordination during walking to least and most affected side in people with Parkinson's disease. *Behav Brain Res*, 346, 105-114. doi:10.1016/j.bbr.2017.11.032
- Beckerman, S., & Hitzeman, S. A. (2003). Sports vision testing of selected athletic participants in the 1997 and 1998 AAU Junior Olympic Games. *Optometry*, 74(8), 502-516.
- Berman, A. M. (1993). Clinical evaluation of the athlete. *Optom Clin*, 3(1), 1-26.
- Bernardin, B. J., & Mason, A. H. (2011). Bimanual coordination affects motor task switching. *Exp Brain Res*, 215(3-4), 257-267. doi:10.1007/s00221-011-2890-x
- Bernárdez Vilaboa, R., Villena Cepeda, C y Sillero Quintana, M. (2019) Universidad Complutense de Madrid y Universidad Politécnica de Madrid. "Dispositivo para la evaluación de habilidades visuales" ES2688472B2. Madrid. OEPM. Fecha de concesión: 13.5.2019
- Bernárdez Vilaboa, R. (2015) Universidad Complutense de Madrid. "Sistema inhibidor del exceso acomodativo y/o del espasmo acomodativo". ES2532411B2. Madrid. OEPM. Fecha de concesión: 11.12.2015
- Bertenthal, B. (2015). *The many faces of social attention: Behavioral and neural measures*.
- Bobrow, J. C. (2008). *Cristalino y cataratas*: Elsevier.
- Borràs García, M. R., Gispets Parcerisas, J., & Ondategui Parra, J. C. (2004). *Visión binocular. Diagnóstico y tratamiento*: Universitat Politècnica de Catalunya. Iniciativa Digital Politècnica.
- Buckingham, G., Bieńkiewicz, M., Rohrbach, N., & Hermsdörfer, J. (2015). The impact of unilateral brain damage on weight perception, sensorimotor anticipation, and fingertip force adaptation. *Vision Res*, 115(Pt B), 231-237. doi:10.1016/j.visres.2015.02.005
- Burch, M., Chuang, L., Fisher, B., Schmidt, A., & Weiskopf, D. (2017). *Eye Tracking and Visualization: Foundations, Techniques, and Applications*. ETVIS 2015: Springer International Publishing.

- Ciuffreda, K. J. (2011). Simple eye-hand reaction time in the retinal periphery can be reduced with training. *Eye Contact Lens*, 37(3), 145-146. doi:10.1097/ICL.0b013e31820ca4af
- Dalton, K., Guillon, M., & Naroo, S. A. (2015). Ocular Dominance and Handedness in Golf Putting. *Optom Vis Sci*, 92(10), 968-975. doi:10.1097/OPX.0000000000000690
- Davranche, K., Audiffren, M., & Denjean, A. (2006). A distributional analysis of the effect of physical exercise on a choice reaction time task. *J Sports Sci*, 24(3), 323-329. doi:10.1080/02640410500132165
- Davranche, K., Burle, B., Audiffren, M., & Hasbroucq, T. (2006). Physical exercise facilitates motor processes in simple reaction time performance: an electromyographic analysis. *Neurosci Lett*, 396(1), 54-56. doi:10.1016/j.neulet.2005.11.008
- de Agustín Vázquez, D. (2001). *Diccionario de enfermería*: Editorial Complutense.
- Domingues, C. A., Machado, S., Cavaleiro, E. G., Furtado, V., Cagy, M., Ribeiro, P., & Piedade, R. (2008). Alpha absolute power: motor learning of practical pistol shooting. *Arq Neuropsiquiatr*, 66(2b), 336-340.
- Duchowski, A. T. (2017). *Eye Tracking Methodology: Theory and Practice*: Springer International Publishing.
- Erickson, G. B. (2007). *Sports Vision: Vision Care for the Enhancement of Sports Performance*: Butterworth-Heinemann.
- Evans, B. J. W. (2006). *Visión binocular*: Masson.
- Fautrelle, L., Gueugnon, M., Barbieri, G., & Bonnetblanc, F. (2013). Inter-hemispheric remapping between arm proprioception and vision of the hand is disrupted by single pulse TMS on the left parietal cortex. *Brain Cogn*, 82(2), 146-151. doi:10.1016/j.bandc.2013.03.002
- Ferrer, J. M. L. (2016). *RELACIÓN ENTRE EFICACIA EN LOS MOVIMIENTOS SACÁDICOS Y PROCESO LECTOR EN ESTUDIANTES DE CURRÍCULO ESPECÍFICO EN EDUCACIÓN SECUNDARIA*.
- Furlan, W. D., Monreal, J. G., & Escrivá, L. M. (2011). *Fundamentos de optometría, 2a ed.: Refracción ocular*. Publicacions de la Universitat de València.
- Gabarel, B., & Busquet, L. (2007). *OSTEOPATÍA Y OFTALMOLOGÍA*: Paidotribo.
- Godefroy, O., Roussel, M., Despretz, P., Quaglino, V., & Boucart, M. (2010). Age-related slowing: perceptuomotor, decision, or attention decline? *Exp Aging Res*, 36(2), 169-189. doi:10.1080/03610731003613615
- Gong, C. R., Troilo, D., & Richdale, K. (2017). Accommodation and Phoria in Children Wearing Multifocal Contact Lenses. *Optom Vis Sci*, 94(3), 353-360. doi:10.1097/OPX.0000000000001044
- Grosvenor, T. (2005). *Optometría de atención primaria*: Masson.
- Hasbroucq, T., Burle, B., Vidal, F., & Possamai, C. A. (2009). Stimulus-hand correspondence and direct response activation: An electromyographic analysis. *Psychophysiology*, 46(6), 1160-1169. doi:10.1111/j.1469-8986.2009.00865.x
- Hashemi, H., Nabovati, P., Yekta, A., Ostadimoghaddam, H., Behnia, B., & Khabazkhoob, M. (2017). The Prevalence of Strabismus, Heterophorias, and Their Associated Factors in Underserved Rural Areas of Iran. *Strabismus*, 25(2), 60-66. doi:10.1080/09273972.2017.1317820
- Hastings, G. D., Marsack, J. D., Nguyen, L. C., Cheng, H., & Applegate, R. A. (2017). Is an objective refraction optimised using the visual Strehl ratio better than a subjective refraction? *Ophthalmic Physiol Opt*, 37(3), 317-325. doi:10.1111/opo.12363
- Hawley, J., Burke, L., & Román, P. G. C. (2000). *Rendimiento deportivo máximo: estrategias para el entrenamiento y la nutrición en el deporte*: Paidotribo.
- Hitzeman, S. A., & Beckerman, S. A. (1993). What the literature says about sports vision. *Optom Clin*, 3(1), 145-169.

- Holmqvist, K., Nyström, M., Andersson, R., Dewhurst, R., Jarodzka, H., & van de Weijer, J. (2011). *Eye Tracking: A comprehensive guide to methods and measures*: OUP Oxford.
- Honda, J., Chang, S. H., & Kim, K. (2018). The effects of vision training, neck musculature strength, and reaction time on concussions in an athletic population. *J Exerc Rehabil*, 14(5), 706-712. doi:10.12965/jer.1836416.208
- Hsu, H. C., Chou, S. W., Chen, C. P., Wong, A. M., Chen, C. K., & Hong, J. P. (2010). Effects of swimming on eye hand coordination and balance in the elderly. *J Nutr Health Aging*, 14(8), 692-695.
- Hughes, C. M., Haddad, J. M., Franz, E. A., Zelaznik, H. N., & Ryu, J. H. (2011). Physically coupling two objects in a bimanual task alters kinematics but not end-state comfort. *Exp Brain Res*, 211(2), 219-229. doi:10.1007/s00221-011-2673-4
- Hulsdunker, T., Struder, H. K., & Mierau, A. (2017). Visual Motion Processing Subserves Faster Visuomotor Reaction in Badminton Players. *Med Sci Sports Exerc*, 49(6), 1097-1110. doi:10.1249/mss.0000000000001198
- Hussaindeen, J. R., Rakshit, A., Singh, N. K., Swaminathan, M., George, R., Kapur, S., . . . Ramani, K. K. (2017). Binocular vision anomalies and normative data (BAND) in Tamil Nadu: report 1. *Clin Exp Optom*, 100(3), 278-284. doi:10.1111/cxo.12475
- Ihalainen, S., Linnamo, V., Mononen, K. & Kuitunen, S (2016). Relation of elite shooters' technique-test measures to competition performance. *Int J Sports Physiol Perform*. Jul; 11(5):671-7. doi: 10.1123/ijsp.2015-0211.
- Karabay, A., & Akyurek, E. G. (2019). Temporal integration and attentional selection of color and contrast target pairs in rapid serial visual presentation. *Acta Psychol (Amst)*, 196, 56-69. doi:10.1016/j.actpsy.2019.04.002
- Kirsch, W., & Hennighausen, E. (2011). Kinematic markers of distance-specific control in linear hand movements. *J Mot Behav*, 43(3), 253-262. doi:10.1080/00222895.2011.572099
- Klapp, S. T. (2003). Reaction time analysis of two types of motor preparation for speech articulation: action as a sequence of chunks. *J Mot Behav*, 35(2), 135-150. doi:10.1080/00222890309602129
- Kopechek, J., Bardales, C., Lash, A. T., Walker, C., Jr., Pfeil, S., & Ledford, C. H. (2017). Coaching the Coach: A Program for Development of Faculty Portfolio Coaches. *Teach Learn Med*, 29(3), 326-336. doi:10.1080/10401334.2016.1273781
- Krauzlis, R. J., Goffart, L., & Hafed, Z. M. (2017). Neuronal control of fixation and fixational eye movements. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*, 372(1718). doi:10.1098/rstb.2016.0205
- Laby, D. M. (2018). Case Report: Use of Sports and Performance Vision Training to Benefit a Low Vision Patient's Function. *Optom Vis Sci*, 95(9), 898-901. doi:10.1097/OPX.0000000000001231
- Laby, D. M., Kirschen, D. G., Govindarajulu, U., & DeLand, P. (2018). The Hand-eye Coordination of Professional Baseball Players: The Relationship to Batting. *Optom Vis Sci*, 95(7), 557-567. doi:10.1097/OPX.0000000000001239
- Laby, D. M., Kirschen, D. G., & Pantall, P. (2011). The visual function of olympic-level athletes-an initial report. *Eye Contact Lens*, 37(3), 116-122. doi:10.1097/ICL.0b013e31820c5002
- Lazzari, S., Mottet, D., & Vercher, J. L. (2009). Eye-hand coordination in rhythmical pointing. *J Mot Behav*, 41(4), 294-304. doi:10.3200/JMBR.41.4.294-304
- Li, R. W., So, K., Wu, T. H., Craven, A. P., Tran, T. T., Gustafson, K. M., & Levi, D. M. (2016). Monocular blur alters the tuning characteristics of stereopsis for spatial frequency and size. *Royal Society Open Science*, 3(9), 160273. doi:10.1098/rsos.160273
- Llinás Solano, H. (2018). *Estadística Inferencial*: UNIVERSIDAD DEL NORTE.
- Loran, D. F. C., & MacEwen, C. J. (1997). *Sports Vision*: Butterworth-Heinemann.

- Los, S. A., & Horoufchin, H. (2011). Dissociative patterns of foreperiod effects in temporal discrimination and reaction time tasks. *Q J Exp Psychol (Hove)*, 64(5), 1009-1020. doi:10.1080/17470218.2010.532225
- Mackie, M. A., Van Dam, N. T., & Fan, J. (2013). Cognitive control and attentional functions. *Brain Cogn*, 82(3), 301-312. doi:10.1016/j.bandc.2013.05.004
- Majaranta, P. (2011). *Gaze Interaction and Applications of Eye Tracking: Advances in Assistive Technologies: Advances in Assistive Technologies*: Medical Information Science Reference.
- Makris, S., Grant, S., Hadar, A. A., & Yarrow, K. (2013). Binocular vision enhances a rapidly evolving affordance priming effect: behavioural and TMS evidence. *Brain Cogn*, 83(3), 279-287. doi:10.1016/j.bandc.2013.09.004
- Martinez-Conde, S., & Macknik, S. L. (2017). Unchanging visions: the effects and limitations of ocular stillness. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*, 372(1718). doi:10.1098/rstb.2016.0204
- Marzi, C. A., Mancini, F., Metitieri, T., & Savazzi, S. (2006). Retinal eccentricity effects on reaction time to imagined stimuli. *Neuropsychologia*, 44(8), 1489-1495. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2005.11.012
- Micó, R. M. (2011). *Optometría. Aspectos avanzados y consideraciones especiales + StudentConsult en español*: Elsevier Health Sciences Spain.
- Missal, M., & Heinen, S. J. (2017). Stopping smooth pursuit. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*, 372(1718). doi:10.1098/rstb.2016.0200
- Momeni-Moghaddam, H., McAlinden, C., Azimi, A., Sobhani, M., & Skiadaresi, E. (2014). Comparing accommodative function between the dominant and non-dominant eye. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*, 252(3), 509-514. doi:10.1007/s00417-013-2480-7
- Montero, F. J. C., & Arce, J. C. L. (2002). *Neurofisiología aplicada al deporte*: Tébar.
- Montes-Mico, R., Madrid-Costa, D., Radhakrishnan, H., Charman, W. N., & Ferrer-Blasco, T. (2011). Accommodative functions with multifocal contact lenses: a pilot study. *Optom Vis Sci*, 88(8), 998-1004. doi:10.1097/OPX.0b013e31821c0ed8
- Montés-Micó, R. (2012). *Optometría: aspectos avanzados y consideraciones especiales*. Ámsterdam: Elsevier.
- Morilla, R. R. G. (2017). *Visión Deportiva*: Wanceulen Editorial Deportiva S.L.
- Neely, K. A., & Heath, M. (2011). The visuomotor mental rotation task: visuomotor transformation times are reduced for small and perceptually familiar angles. *J Mot Behav*, 43(5), 393-402. doi:10.1080/00222895.2011.618850
- Nogales-Gaete, J. (2005). *Tratado de Neurología Clínica*: Editorial Universitaria.
- O'Donnell, B. M., & Colombo, E. M. (2008). Simple reaction times to chromatic stimuli: Luminance and chromatic contrast. *Lighting Research & Technology*, 40(4), 359-371. doi:10.1177/1477153508097709
- Olivares Tenza, E., López García, J. J. (2016). Entrenamiento psicológico en tiro olímpico: Estudio de un caso. *Revista de psicología del deporte*, ISSN 1132-239X, ISSN-e 1988-5636, 25(1), págs. 131-135.
- Olivier, I., Weeks, D. J., Lyons, J., Ricker, K. L., & Elliott, D. (1998). Monocular and binocular vision in one-hand ball catching: interocular integration. *J Mot Behav*, 30(4), 343-351. doi:10.1080/00222899809601348
- Ozkan, J., Fedtke, C., Chung, J., Thomas, V., & Bakaraju, R. C. (2018). Short-Term Adaptation of Accommodative Responses in Myopes Fitted With Multifocal Contact Lenses. *Eye Contact Lens*, 44 Suppl 1, S30-s37. doi:10.1097/icl.0000000000000299.
- Palomo Alvarez, C., Puell, M. C., Sanchez-Ramos, C., & Villena, C. (2006). Normal values of distance heterophoria and fusional vergence ranges and effects of age. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*, 244(7), 821-824. doi:10.1007/s00417-005-0166-5
- Parra, J. C. O., & García, M. R. B. (2010). *Optometría: manual de exámenes clínicos*: UPC.

- Peña-García, A., de Oña Lopez, R., Espín Estrella, A., Aznar Dols, F., Calvo Poyo, F. J., Molero Mesa, E., & de Oña López, J. (2010). Influence of daytime running lamps on visual reaction time of pedestrians when detecting turn indicators. *J Safety Res*, 41(5), 385-389. doi:10.1016/j.jsr.2010.03.007
- Peñalba, B. A. (2009). *Procedimientos clínicos en la evaluación de la visión binocular*. Netbiblo.
- Pflüger, H. (2014). *Eye Tracker Data and Simulated Fixations*: epubli GmbH.
- Proverbio, A. M., Mazzara, R., Riva, F., & Manfredi, M. (2012). Sex differences in callosal transfer and hemispheric specialization for face coding. *Neuropsychologia*, 50(9), 2325-2332. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2012.05.036
- Przybyla, A., Good, D. C., & Sainburg, R. L. (2012). Dynamic dominance varies with handedness: reduced interlimb asymmetries in left-handers. *Exp Brain Res*, 216(3), 419-431. doi:10.1007/s00221-011-2946-y
- Quevedo i Junyent, L., & Sole i Forto, J. (1995). Visual training programme applied to precision shooting. *Ophthalmic Physiol Opt*, 15(5), 519-523.
- RFEDETO (2019). [Web](#)
- Rio, E. C. (2006). *Cefaleas de Origen Ocular: Un Reto Diagnóstico Y Terapéutico*: Editorial Glosa.
- Roberts, R. D., & Humphreys, G. W. (2010). Visual context and practice change the distribution of attention in touch. *Brain Res*, 1351, 185-197. doi:10.1016/j.brainres.2010.06.047
- Rodríguez Gómez, J. y Granero Gallegos, A. (2014). Estado de ánimo, autoconfianza y ansiedad precompetitiva en tiro deportivo. *Espiral. Cuadernos del profesorado*, ISSN-e 1988-7701, 7(14).
- Salvador, V. R. (2010). *Visión y deporte*: Glosa.
- Schmorrow, D. D., & Fidopiastis, C. M. (2017). *Augmented Cognition. Neurocognition and Machine Learning: 11th International Conference, AC 2017, Held as Part of HCI International 2017, Vancouver, BC, Canada, July 9-14, 2017, Proceedings*: Springer International Publishing.
- Selivanova, A., & Krabbe, P. F. M. (2018). Eye tracking to explore attendance in health-state descriptions. *PLoS One*, 13(1), e0190111. doi:10.1371/journal.pone.0190111
- Snow, N. J., Blair, J. F. L., MacDonald, G. Z., Byrne, J. M., & Basset, F. A. (2018). Barefoot running does not affect simple reaction time: an exploratory study. *PeerJ*, 6, e4605. doi:10.7717/peerj.4605
- Solaiman, K. A. M., El-Haig, W. M., Bor'i, A., Khalil, A. S., Awad, A. M. B., Al-Bialy, H. A., & Ibrahim, B. M. (2019). Secondary Intraocular Lens Implantation After Simultaneous Penetrating Keratoplasty and Cataract Extraction for Coexisting Corneal and Lens Opacities. *Cornea*. doi:10.1097/ico.0000000000001861
- Stidwill, D., & Fletcher, R. (2010). *Normal Binocular Vision: Theory, Investigation and Practical Aspects*: Wiley.
- Suttle, C. M., Melmoth, D. R., Finlay, A. L., Sloper, J. J., & Grant, S. (2011). Eye-hand coordination skills in children with and without amblyopia. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 52(3), 1851-1864. doi:10.1167/iovs.10-6341
- Sylvain-Roy, S., Bherer, L., & Belleville, S. (2010). Contribution of temporal preparation and processing speed to simple reaction time in persons with Alzheimer's disease and mild cognitive impairment. *Brain Cogn*, 74(3), 255-261. doi:10.1016/j.bandc.2010.08.004
- Thomson, A. J., Nimmo, A. F., Tiplady, B., . . . J, B. - Evaluation of a new method of assessing depth of sedation using two-choice visual reaction time testing on a mobile phone*. doi:- 10.1111/j.1365-2044.2008.05683.x
- Thomson, A. J., Nimmo, A. F., Tiplady, B., & Glen, J. B. (2009). Evaluation of a new method of assessing depth of sedation using two-choice visual reaction time

- testing on a mobile phone. *Anaesthesia*, 64(1), 32-38. doi:10.1111/j.1365-2044.2008.05683.x
- Tu, J. H., Lin, Y. F., & Chin, S. C. (2010). The influence of ball velocity and court illumination on reaction time for tennis volley. *J Sports Sci Med*, 9(1), 56-61.
- Vargas, V., Radner, W., Allan, B., Reinstein, D., Burkhard, D., Alió, J. L., & (AECOS), N. v. a. a. c. o. t. A.-E. C. o. O. (2018). Methods for the study of near intermediate vision and accommodation: An overview of subjective and objective approaches. *Surv Ophthalmol*. doi:10.1016/j.survophthal.2018.08.003
- Verdú, F. M. M., & Moreno, Á. M. P. (2004). *Fundamentos de visión binocular*. Universidad de València Servicio de Publicaciones.
- Villena Cepeda, C, Bernárdez Vilaboa, R, Álvarez Fernández-Balbuena, A y Medina Ramirez, Lydia (2016) Universidad Complutense de Madrid. "Heterophoria measurement and training system" ES2430600B2. Madrid. OEPM. Fecha de concesión: 15.6.2016
- Bernárdez Vilaboa, R, Villena Cepeda, C, Orea Pérez, J y Yuste Cabello, A. (2015) Universidad Complutense de Madrid. "Caja para la medida de la amplitud de acomodación con lentes oftálmicas" ES2456592B2. Madrid. OEPM. Fecha de concesión: 29.4.2015.
- Villena Cepeda, C, Bernárdez Vilaboa, R, Yuste Cabello, A y Orea Pérez, J. (2014) Universidad Complutense de Madrid. "Caja de acomodación para el método de acercamiento modificado". ES2464915B2. Madrid. OEPM. Fecha de concesión: 4.4.2014.
- Zee, D. S., Jareonsettasin, P., & Leigh, R. J. (2017). Ocular stability and set-point adaptation. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*, 372(1718). doi:10.1098/rstb.2016.0199
- Zwierko, T., Jedziniak, W., Florkiewicz, B., Stepinski, M., Buryta, R., Kostrzewa-Nowak, D., . . . Wozniak, J. (2018). Oculomotor dynamics in skilled soccer players: The effects of sport expertise and strenuous physical effort. *Eur J Sport Sci*, 1-9. doi:10.1080/17461391.2018.1538391
- Zwierko, T., Popowczak, M., Wozniak, J., & Rokita, A. (2018). Visual control in basketball shooting under exertion conditions. *J Sports Med Phys Fitness*, 58(10), 1544-1553. doi:10.23736/s0022-4707.17.07522-3

12. LIMITACIONES DE LA TESIS

Al no tener una población normal se tienen que utilizar medianas para la descripción de los resultados.

Hay que apuntar que el protocolo aplicado a los sedentarios duraba 1 hora porque no tenían que hacer la tirada ni otro ejercicio dada su evaluación como grupo control respecto a los valores de normalidad en condiciones habituales y sin embargo en los tiradores olímpicos fue de casi 3 horas para completar la actividad propia de su entrenamiento y comprobar los cambios antes y después del entrenamiento o principal objetivo de esta tesis.

La palabra “elite” es una palabra ambigua y corresponde, por ejemplo, en la participación en competiciones internacionales tipo copa del Mundo, GPI, etc... y en competición semanal becas por la Real Federación Española de Tiro olímpico.

El grupo de tiradores de carabina y pistola de aire comprimido de élite, era siempre una población pequeña para cualquier comparativa que fuera más relevante.

13. ANEXOS

ANEXO 1: Ficha inicial de control visual

Es una ficha para anotar las medidas realizadas incluyendo refracción, color, contraste, visión en relieve, acomodación, visión binocular y habilidades visuales además de medidas diferenciadas en la toma de contacto con sedentarios y tiradores.

FORMULARIO OPTOMETRÍA									
CODIGO	NOMBRE								
FECHA	*****	HORA	F.NAC.		ESPECIALIDAD				
CLUB	ENTRENADOR:			CONTACTO:					
FICHA									MARCA
OBSERVACIONES									
MANO DOMINANTE		OJO DOMINANTE		ESTUDIOS					
PROB.VISUALES									
¿GAFAS?		¿L.C.?		GAFAS ESPECIAL		REFRAC. DEPORTIVA			
AVODH		AVOIH		AVBH		RETINOSC	ESFERA	CILINDRO	EJE
						OD			
						OI			
FOTOMD		FOTOMI		PPC		COVER		DNP	
							OD	OI	
SUBJETIVO	ESFERA	CILINDRO	EJE	A.V					
OD					BINOCULAR				
OI									
FL	EVFNL	RTVFNL	RBVFNL						
	EVFPL	RTVFPL	RBVFPL						
FP	EVFNP	RTVFNP	RBVFNP						
	EVFPP	RTVFPP	RBVFPP						
	SIGNO		SIGNO						
FAOD		FAOI		FAB		SIGNO			
AAOD		AAOI					40	50	85
	0,2	0,8	>1,0	MEM.D					
SC.D				MEM.I					
SC.I				COLOR.D		COLOR.I			
NECESIDAD									
PROXIMA VISITA									

ANEXO 2: Informe individual del tirador

Es un informe inicial para entrenador y el tirador que incluye tanto datos personales como valores significativos de las pruebas evaluadas con indicación de los problemas visuales encontrados automatizados con las fórmulas y condiciones de las anomalías recogidas en el anexo 5.

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE MADRID		INFORME INDIVIDUAL TIRO		NEF		POLICIA	
CODIGO	34	SERGIO MATECHO SOLER					
Fecha	21/04/2017	Hora	14:20	EDAD	20,21	ESPECIALIDAD	
CLUB	Federación de Murcia (salto)	ENTRENADOR	LUIS MIGUEL	CONTACTO			
1.- REFRACCIÓN: Corrección óptica teórica							
	Esfera	Cilindro	Eje	Ag. Visual			
Ojo Derecho	-5,5	0	0	5,4	Agudeza Visual Binocular 5,4		
Ojo Izquierdo	-5	0	0	5,4	Refracción para Tiro -0,25		
Problema refracción							
OD = La Agudeza Visual del ojo derecho en visión lejana es correcta							
OI = La Agudeza Visual del ojo izquierdo en visión lejana es correcta							
2.- VISION BINOCULAR: Coordinación de ambos ojos en situación normal.							
Foja de lejos	-3	Foja de Cerca	-8	AC/A	3,8		
VERGENCIAS DE CERCA	Negativo	Rotura	Recobro				
	Positivo	36	7				
		40	38				
El problema de visión binocular es: NO HAY PROBLEMAS DE VISION BINOCULAR							
3. ACOMODACIÓN: capacidad para enfocar los objetos.							
FLEXIBILIDAD	ODERCHO	OIZQUIERDO	BINOCULAR				
	18	20	9				
MEM	O DERECHO	O IZQUIERDO	AMPLITUD ACOMODACIÓN	OJO DERECHO	O IZQUIERDO		
	13,89	2	14,29	7,00			
El problema de acomodación es: NO HAY PROBLEMA ACOMODATIVO							
VALORACIÓN DE HABILIDADES VISUALES, VISION BINOCULAR Y ACOMODACIÓN tras refuerzo de habilidades visuales							
HABILIDADES VISUALES							
4. ANALISIS DEL TIEMPO DE REACCIÓN VISUAL							
	PREMOTOR	MOTOR	Evaluación de los valores de base:		Efecto del trabajo visual		
MEJOR TIEMPO INICIAL	162	150	PREMOTOR: Mejora		-15,38 %		
MEJOR TIEMPO FINAL	108	102	MOTOR: Mejora		-12,96 %		
6. ANALISIS DE LA COORDINACIÓN OJO-MANO							
	MEJOR VALOR INICIAL	77	Evaluación de los valores de base:		Efecto del trabajo visual		
MEJOR VALOR FINAL	80	COORD: Mejora		3,90 %			
7. ANALISIS DE LA ANTICIPACIÓN VISUAL							
	MEJOR RESULTADO INICIAL	3	Evaluación de los valores de base:		Efecto del trabajo visual		
MEJOR RESULTADO FINAL	24	ANTICIPACIÓN VISUAL: Fluidez habilidad		-200,00 %			
8.- REFRACCIÓN							
	INICIAL Agudeza Visual	FINAL Ag. Visual	Efecto del trabajo visual				
Ojo Derecho	3,4	1,39	empeora ojo derecho				
Ojo Izquierdo	3,4	1,25	empeora ojo izquierdo				
Binocular	3,4	1,46	mejora binocularmente				
9.- VISION BINOCULAR							
	INICIAL Foja de lejos, Foja de Cerca	FINAL AC/A	Efecto del trabajo visual				
	-3 -8	3,8	empeora la foja de lejos				
	-5 -8	3,8	empeora la foja de cerca				
VERGENCIAS DE CERCA	Rotura	Recobro	FINAL				
Negativo	36	7	Negativo		36 33		
Positivo	40	38	Positivo		40 40		
Efecto del trabajo visual							
mejora	el punto de rotura de la vergencia negativa						
mejora	el punto de recobro de la vergencia negativa						
no cambia	el punto de rotura de la vergencia positiva						
mejora	el punto de recobro de la vergencia positiva						
10. ACOMODACIÓN							
	ODERCHO	OIZQUIERDO	BINOCULAR				
FLEXIBILIDAD	INICIAL 18	20	9				
	FINAL 20	16	2				
Efecto del trabajo visual							
mejora	en el ojo derecho						
empeora	en el ojo izquierdo						
empeora	binocularmente						
	ODERCHO	OIZQUIERDO	Efecto visual				
AMPLITUD	INICIAL 14,29	7,00	empeora en el ojo derecho				
	FINAL 7,50	7,00	no cambia en el ojo izquierdo				
	O DERECHO	O IZQUIERDO	Efecto visual				
MEM	INICIAL 13,89	2,00	empeora en el ojo derecho				
	FINAL 5,00	0,75	empeora en el ojo izquierdo				

Es la Ficha de pre y post entrenamiento en tiradores exclusivamente.

122

ANEXO 5: Fórmulas y condiciones de las anomalías

Dentro de los informes se muestran dos campos con la presentación automática del problema tanto binocular como acomodativo que se calculan en Excel gracias a dos fórmulas calculadas por el investigador. Estas dos fórmulas son las siguientes:

Fórmula para la anomalía binocular

```
=SI(Y(J26>6;(-2*C26)>E30;C26<-3);"--> EXCESO DE DIVERGENCIA";SI(Y(J26>6;(2*G26)>J29;G26>0);"--> EXCESO DE CONVERGENCIA";SI(Y(J26>1;(2*C26)>E29;(2*G26)>J29;C26>1;G26>0);"--> ENDOFORIA BÁSICA";SI(Y(J26>1;(-2*C26)>E30;(-2*G26)>J30;C26<-3;G26<-6);"--> EXOFORIA BÁSICA";SI(Y(J26>1;D29<2;E29<2;D30<2;E30<2;I29<2;J29<2;I30<2;J30<2);"-->DISFUNCIÓN DE VERGENCIA FUSIONAL";SI(Y(J26<2;(2*C26)>E29;C26>1);"--> INSUFICIENCIA DE DIVERGENCIA";SI(Y(J26<2;(-2*G26)>J30;G26<-6);"--> INSUFICIENCIA DE CONVERGENCIA";"NO HAY PROBLEMAS DE VISIÓN BINOCULAR"))))))))
```

Y la fórmula para la anomalía acomodativa

```
=SI(Y(O(D41="MENOS";F41="MENOS");Y(C37>1;C38>1;I38<(16-F10/3);J38<(16-F10/3));"--> INSUFICIENCIA DE ACOMODACIÓN";SI(Y(C37<0;C38<0;D41="MAS";O(F41="MAS");I38>(16-F10/3);J38>(16-F10/3));"--> EXCESO DE ACOMODACIÓN";SI(Y(O(I38<(16-F10/3);J38<(16-F10/3);Y(C37<0;C38<0;D41="MAS";F41="MAS");"--> ESPASMO ACOMODATIVO";SI(Y(D41="MASMENOS";F41="MASMENOS");"--> INFLEXIBILIDAD ACOMODATIVA";"NO HAY PROBLEMA ACOMODATIVO"))))))
```

Las opciones para la anomalía binocular son:

SI $AC/A > 4/1 \pm 2/1$ y la foria lejos mayor de 3Δ exoforia --> **EXCESO DE DIVERGENCIA**;
 SI $AC/A > 4/1 \pm 2/1$ y la foria cerca mayor de ortoforia --> **EXCESO DE CONVERGENCIA**;
 SI $AC/A = 4/1 \pm 2/1$ y la foria cerca y lejos es endoforia --> **ENDOFORIA BÁSICA**;
 SI $AC/A = 4/1 \pm 2/1$ y la foria cerca y lejos es exoforia --> **EXOFORIA BÁSICA**;
 SI $AC/A = 4/1 \pm 2/1$ y las vergencias bajas-> **DISFUNCIÓN DE VERGENCIA FUSIONAL**;
 SI $AC/A < 4/1 \pm 2/1$ y la foria lejos es endoforia> 1-> **INSUFICIENCIA DE DIVERGENCIA**;
 SI $AC/A < 4/1 \pm 2/1$ y foria cerca > 6Δ exoforia --> **INSUFICIENCIA DE CONVERGENCIA**.

Y las opciones para la anomalía acomodativa:

SI $AA < AA$ normal para la edad con FA Monocular con fallos con lentes negativas

--> INSUFICIENCIA DE ACOMODACIÓN;

SI $AA = AA$ normal para la edad con FA Monocular con fallos con lentes positivas

--> EXCESO DE ACOMODACIÓN;

SI $AA < AA$ normal para la edad con FA Monocular con fallos con lentes positivas

--> ESPASMO ACOMODATIVO;

SI $AA = AA$ normal para la edad con FA Monocular con fallos con lentes negativas y positivas

--> INFLEXIBILIDAD ACOMODATIVA;